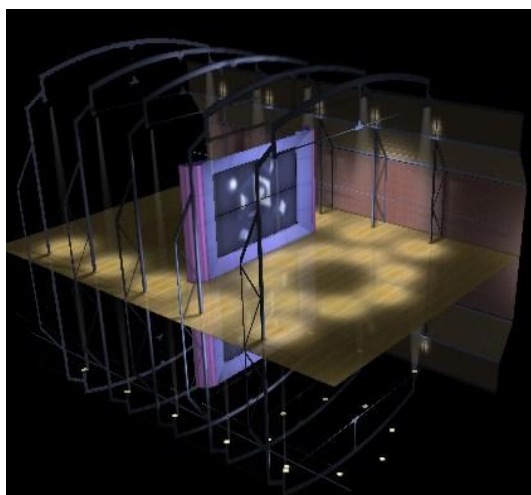


UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
FACULDADE DE ARQUITECTURA

CENOGRAFIA VIRTUAL ENQUANTO TECNOLOGIA E O SEU DESENVOLVIMENTO E ADAPTAÇÃO AO MEIO TELEVISIVO

1º Volume



Maria do Rosário da Mota das Dores Ponce de Leão

Designer

DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE EM DESIGN DE PRODUTO

Orientador Científico:

Doutor Pedro Miguel Gomes Januário

Júri:

Presidente: Doutor José Manuel Pinto Duarte

Vogais: Doutor Pedro Miguel Gomes Januário

Mestre António Fernando Seródio Gomes Polainas

Lisboa, Dezembro 2010

Dedico este trabalho a meu pai,
fonte de inspiração inesgotável pela dedicação
e empenho que põe em tudo o que realiza.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os que tornaram possível a execução desta dissertação. Em primeiro lugar, à Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa por me ter permitido realizar esta dissertação e ao Prof. Moreira da Silva sempre uma inspiração para todos nós do departamento de Arquitectura do Design. Em segundo lugar, à RTP e à SIC por toda a sua colaboração e material disponibilizado no decurso da investigação e pelos contactos importantes que estabeleceram para que pudesse obter o melhor resultado com este trabalho. De igual forma gostaria de agradecer à Escola Superior de Comunicação Social e à Universidade Lusófona pelos abrangentes contributos que oferecerem através da sua colaboração.

Em especial ao meu orientador Prof. Pedro Miguel Gomes Januário, pela sua dedicação e importante orientação ao longo do desenvolvimento da dissertação. Ao Arq. António Polainas que enquanto cenógrafo e docente muito contribuiu para o desenvolvimento da dissertação e a Nuno Estanqueiro pelas horas dedicadas a explicar-me o “saber fazer”. A Vitor Duarte, Rui Aranha e Gonçalo Calheiros pela abertura com que expuseram todo o seu trabalho respondendo a muitas das minhas questões. A Miguel Baptista. a enorme paciência com que me mostrou o outro lado da “questão”. A Filipe Costa Luz, um muito obrigada, para além do seu apoio o trabalho por si desenvolvido foi uma grande inspiração para esta investigação. A Alexandre Roriz pela forma pormenorizada como me esclareceu o funcionamento de um estúdio virtual.

Finalmente, um agradecimento profundo às minhas filhas Maria e Júlia pelo tempo que prescindiram da companhia da mãe para que ela atingisse os seus objectivos. A minha mãe, meu pai e Teresa presentes nos bons e maus momentos sempre com uma palavra de encorajamento e a Jeroen meu apoio e fonte de motivação constante. Ao meu irmão Luis, pedra fulcral nesta dissertação, sempre atento aos pontos fracos para que os pudesse melhorar, e aos meus amigos, Ricardo, Rita e Sara com quem pude sempre contar na discussão dos avanços e recuos que foram surgindo pelo caminho.

Todos os objectos feitos pelo Homem são a personificação do que é ao mesmo tempo pensável e possível. Aquilo que alguém foi simultaneamente capaz de pensar e criar fisicamente. Cada objecto feito pelo Homem situa-se na intersecção de linhas de desenvolvimento do pensamento (modelos, estruturas culturais, formas de conhecimento) com linhas de desenvolvimento tecnológico (disponibilidade de materiais, técnicas transformadoras, sistemas de previsão e de controlo).

Esta interacção entre o pensável e o possível, a que chamamos design, não é simples nem linear. Não existe um pensável abrangente que tenha apenas de ser encaixado na fronteira do possível, porque a própria consciência destes limites restringe o que pode ser pensado.

Ezio Manzini in *A matéria da invenção*, 1993

RESUMO

O Cenário Virtual surge como uma realidade quotidiana do telespectador aplicada pela maioria das cadeias televisivas. Esta circunstância veio incrementar o desenvolvimento da cenografia televisiva e a forma como os conteúdos programáticos devem ser explorados e apresentados neste meio de comunicação.

Considerando as investigações em curso, a nível nacional e internacional, procurou identificar-se que medidas estão a ser aplicadas na exploração das potencialidades criativas proporcionadas pela utilização da Realidade Aumentada neste meio, em especial na Cenografia Virtual

Metodologicamente, numa primeira fase, efectuamos o levantamento da informação apoiando-nos em estudos científicos e nas tecnologias actualmente aplicadas na produção audiovisual. Posteriormente, recorreremos a contactos directos com profissionais do ramo e à avaliação *in loco* de diferentes estudos de casos e dos diferentes *modi operandi*, comparando as principais práticas utilizadas ao nível conceptual do modelo tridimensional da Cenografia Virtual e confrontando ferramentas e tecnologias disponíveis com as dificuldades encontradas na sua utilização.

Como resultado foi possível identificar que contributos melhor se adequam à exploração e à implementação das potencialidades criativas proporcionadas por esta tecnologia no meio televisivo. De igual forma, foi possível reunir um conjunto de novas linhas metodológicas na abordagem projectual para o *designer* de cenografia virtual integrado numa estação televisiva.

Palavras-chave: *cenografia virtual, modelação 3D, metodologia projectual, realidade aumentada, televisão*

ABSTRACT

Virtual Scenography has become a reality for the media consumer, currently used by the major television networks. This new reality has triggered the development of television scenography and the way media content should be presented.

Considering the current research, at a national and international level, we have attempted to identify the endeavors that are being taken to explore the creative opportunity brought by Augmented Reality to the audio-visual media, particularly, by Virtual Scenography.

Methodologically, the first stage was based on a survey of scientific studies and technologies currently used on television productions. On a second stage we interviewed key professional figures and have come into direct contact with different case studies and *modi operandi*. This way, we were able to compare the main instruments and practices employed on 3D modeling for Virtual Scenography, evaluating the challenges found with the performance of the available tools and technologies.

As a result, it became possible to identify which contributions were most appropriate to the development and implementation of the creative process supported by this technology in the television medium. Also, it became possible to develop a set of new methods and project practices for the virtual set *designer* in a television network.

Keywords: *virtual scenography, 3D modeling, design methodology, augmented reality, television*

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

- Fig. 1a/1b – a) George Lucas, 1983, com algumas das miniaturas utilizadas na realização da primeira saga de *Star Wars*; b) em 2005 o realizador torna-se um entusiasta da técnica do *greenscreen* (Lucas 1983 – 2005, *A photo essay*, n.d.)..... 11
- Fig. 2 - *L'homme à la tête de caoutchouc*, curta metragem de 3 minutos realizada em 1902 por Georges Méliès (Vita 2008, p.92)..... 13
- Fig. 3a/3b - a) técnica de *Matte Painting* patenteada por Norman Dawn em 1918; b) tecnologia de *mattes* aplicadas em vidro desenvolvidas pelo mesmo autor (Vita 2008, pp.102-103). 14
- Fig. 4 - *The Lost World* realizado por Willis O'Brien, um dos primeiros filmes a demonstrar as possibilidades do *stop-motion* com a animação de modelos de criaturas pré-históricas (*Timeline* – ILMfan, n.d.)..... 15
- Fig. 5 - Processo original de *Schüfftan* utilizado para introduzir no palco onde se desenvolve a acção, um cenário criado a partir de um quadro. *US Patent No. 1,606,483, November 9, 1926* (*Schüfftan process*, 2008). 16
- Fig. 6a/6b - 1927 – O filme *Metropolis* (1927) utilizou efeitos como miniaturas, *matte shots*, processo de *Schüfftan*, efeitos mecânicos e animação para impressionar as audiências (*Timeline* – ILMfan, © ILMfan.com 1996-2010). 17
- Fig. 7a/7b – O filme *Foreign Correspondent* (Alfred Hitchcock, 1940) utilizou a técnica de *Back Projection* para simular o movimento do carro e a queda do avião no mar (*1000 Frames of Foreign Correspondent* (1940), n.d.)..... 18
- Fig. 8a/8b/8c – Filme *The Thief of Bagdad* (Michael Powell, Ludwig Berger e Tim Whelan, 1940), onde se utilizaram efeitos especiais conseguidos através da técnica de *bluescreen* e da aplicação de *matte paintings* (Vita 2008, p.110 & Rich 2008). 20
- Fig. 9 - *Mary Poppins* (1964), na imagem Julie Andrews e Dick van Dyke interagem com personagens animadas (*Timeline* – ILMfan, © ILMfan.com 1996-2010). 22
- Fig. 10a/10b – a) *Westworld*, 1973; b) *Futureworld*, 1976 (*Westworld* (1973), n.d. & Jenkins 2009). 24
- Fig. 11a/11b - *Star Wars – A New Hope, Episódio IV* (1977); à esq. holograma da “*Death Star*” e à dir. nave espacial. Os FX foram conseguidos respectivamente através da utilização de CGI e de miniaturas (Curtis, © Curtis Saxton 1996-2005 & *What is your favorite special effects moment?*, n.d.)..... 25
- Fig. 12 - *Star Trek: The Wrath of Khan* (1982), “*Genesis Effect*” (Carlson 2003, section 12)..... 26
- Fig. 13 - *Young Sherlock Holmes*, 1985 (*Milestones in Film History: Greatest Visual and Special Effects and Computer-Generated Imagery* (CGI) - part 12, © 2010 American Movie Classics Company LLC) 27
- Fig. 14a/14b – a) *Luxo Jr.* (1986), animação realizada pela Pixar; b) *Star Trek IV* (1986), onde se observam imagens conseguidas através do novo processo de digitalização 3D (Hornby 2007 & *Milestones in Film History: Greatest Visual and Special Effects and Computer-Generated Imagery* (CGI) - part 12, © 2010 American Movie Classics Company LLC)..... 28
- Fig. 15 - *The Abyss* (Cameron, 1989), o “*pseudopod*” foi a primeira personagem CGI animada digitalmente (*Famous Historical CGI Images*, © 20th Century Fox). 29
- Fig. 16a/16b – O filme *Exterminador Implacável II – O dia do Julgamento* (Cameron, 1991) recorre a *software* especializado para dominar a técnica de *morphing* (*gameinformer*, © 2010 &

<i>Milestones in Film History: Greatest Visual and Special Effects and Computer-Generated Imagery (CGI) - part 13</i> , © 2010 American Movie Classics Company LLC).	30
Fig. 17a /17b - <i>Jurassic Park</i> (Spielberg, 1993) personagens como o <i>T-rex</i> , realizados através de modelos CGI foto-realistas com pele texturada e músculos, são utilizados em conjunto com personagens desenvolvidos por <i>animatronics</i> (Nattyb 2008 & Vallance 2008).....	31
Fig. 18a/18b/18c – a) e b) realização de cenas num estúdio com <i>greenscreen</i> de grandes dimensões (<i>Babylon 5</i> , 1993); b) imagem gerada a partir do modelo CGI que serve de <i>background</i> às imagens a) e b) (Dunlop, © 2002-2010 Ballistic Media).	32
Fig. 19 - <i>Toy Story</i> (1995) – filme de animação 3D (<i>Chip Company</i> , n.d.).....	33
Fig. 20a/20b/20c - Morgan Trotter a realizar o <i>matte painting</i> para o filme <i>Casino</i> (1995) de Martin Scorsese, imagem original e imagem compósita depois de aplicado o <i>matte</i> 3D (Vita 2008, pp.114-115).....	34
Fig. 21a/21b - <i>Star Wars: Episode I - The Phantom Menace</i> , 1999 (Vita 2008, p.125).....	35
Fig. 22a/22b - <i>Sky Captain and the World of Tomorrow</i> (2004), de Kerry Conran, filmagens com <i>bluescreen</i> (Vita 2008, p.136).	36
Fig. 23a/23b - <i>Sky Captain and the World of Tomorrow</i> (2004), imagens finais conseguidas por composição e animação digital (Vita 2008, p.140).	36
Fig. 24 - <i>I Robot</i> (2004), realizado por Alex Proyas (Vita 2008, p.140).....	37
Fig. 25a/25b/25c - <i>I Robot</i> (2004); a) e b) fotos do actor que animou a personagem através da técnica de <i>motion-capture</i> ; c) imagem do modelo digital final (Vita 2008, pp.140-141). ...	38
Fig. 26 – Filme <i>300</i> de Zack Snyder (2007), onde se utiliza extensivamente a técnica de <i>bluescreen</i> (<i>CinePop</i> , n.d).	38
Fig. 27a/27b - Em cima imagem retirada da banda desenhada de Frank Miller e em baixo desenho realizado como <i>storyboard</i> para o filme <i>300</i> por Zack Snyder (<i>300 - The complete experience - Making of 300 - Ink to film</i> , © 2007 Warner Bros. Ent.).....	39
Fig. 28a/28b – Filme <i>300</i> de Zack Sneyder, cena filmada com <i>bluescreen</i> e resultado final após composição digital dos elementos reais e FX (<i>300 - The complete experience - Making of 300 - Ink to film</i> , © 2007 Warner Bros. Ent.).....	40
Fig. 29 - Cena do filme <i>300</i> onde se observa a adição de centenas de personagens virtuais (Attili 2007).	41
Fig. 30 - Anos 1930, Estúdio A da BBC, Londres (Kempton 2010).	42
Fig. 31 - Transmissão em directo do programa da BBC <i>Gerald's Orchestra</i> em 7 de Junho de 1946 (Kempton 2010).	43
Fig. 32a/32b - Estúdio Viking da ITV (Londres), utilizado para realizar filmes entre 1947 e 1950. Os monitores por cima da janela do estúdio permitiam ao produtor verificar exactamente aquilo que se passava em estúdio (Kempton 2010).....	44
Fig. 33 - <i>Arthur Haynes Show</i> , gravado em 1962 no estúdio <i>Wood Green Empire</i> em Londres (foto colorida) (Kempton 2010).	45
Fig. 34 - <i>The Muppets</i> (1977), gravação do programa <i>Swine Trek</i> no estúdio D da ITC em Londres (Kempton 2010).	46
Fig. 35 - <i>Morning Britain</i> , gravação no estúdio A da BBC (Londres, 1983) (Kempton 2010).....	46
Fig. 36a/36b/36c - Cenários BBC News, Londres (Walker, 2010)	47

Fig. 37a/37b/37c - Cenários virtuais realizados pela BBC News com a implementação da técnica de <i>blue/greenscreen</i> (Walker, 2010).....	48
Fig. 38a/38b/38c/38d - Algumas das primeiras imagens promocionais da aplicação de cenários virtuais da ORAD, RT-set (Vi[z]rt) e da Brainstorm (Shakespeare 2005).	54
Fig. 39 - Brainstorm, fundada em 1993 (<i>Brainstorm Multimedia</i> , © 2007 Brainstorm Multimedia S.L.).	55
Fig. 40 - Boletim Meteorológico emitido em 1996 pela Antena 3TV, onde se observa um cenário com recurso a grafismos virtuais (Vita 2008, pp.205-207).	56
Fig. 41a/41b - Cenários virtuais concebidos através de <i>software</i> da ORAD (<i>ORAD: Mastering VideoGraphics</i> , 2010a).....	58
Fig. 42a/42b - Grafismos e elementos 3D inseridos no cenário com recurso a <i>software</i> da ORAD (<i>ORAD: Mastering VideoGraphics</i> , 2010a).....	58
Fig. 43 - O HDVG é a plataforma da Orad para o <i>rendering</i> em tempo-real de vídeo com gráficos 3D. A sua capacidade de processamento possibilita o uso em sistemas de HDTV, simulação 3D para Engenharia e produção de Cinema Digital (<i>ORAD: Mastering VideoGraphics</i> , 2010a)	59
Fig. 44 - Imagem promocional da Ultimatte (<i>AdvantEdge brochure</i> , ©2007-2010 Ultimatte Corporation).....	60
Fig. 45 - Um cenário com elementos reais e virtuais, com telas (<i>screens</i>) semi-transparentes, criadas com Viz Virtual Studio (<i>Benchmark Broadcast Systems</i> , Copyright © 2008-2010 Benchmark Broadcast Systems).	61
Fig. 46a/46b - A VirtualSetworks tem uma variedade de Cenários Virtuais que a torna uma das empresas mais competitivas. Estes cenários estão à venda por uma determinada verba, contudo, aquando da compra são apenas fornecidas imagens 2D do cenário e não o projecto tridimensional em si, limitando as possibilidades de realização (<i>Virtual networks</i> , © Virtualsetworks NV LLC 2009).....	63
Fig. 47a/47b - Cenário Virtual comercializado pela CG4TV em SD (73 €) e em HD (110 €) (<i>CG4TV.com: Royalty Free Virtual Set Library</i> , © 2010 CG4TV).	64
Fig. 48a/48b – Cenografia virtual realizada para o programa da RTP a “Grande Entrevista” (/ <i>Informação</i> , 2009 & <i>Rio das Maças</i> , 2009).	65
Fig. 49a/49b/49c/49d – Imagens onde se observam as cenografias virtuais criadas para diferentes programas da SIC com o sistema da ORAD Pro-set (<i>bloomgraphics</i> , n.d.).	66
Fig. 50a/50b - Gravação efectuada no Estúdio Virtual da Escola Superior de Comunicação Social (Silveiro 2006).....	69
Fig. 51a/51b/51c/51d - a) e b) Imagens captadas no estúdio virtual da ULHT; c) e d) experiências em <i>motion-capture</i> levadas a cabo pelo MovLab (a) e b) imagens fornecidas por Filipe Costa Luz da ULHT & c) e d) <i>Movlab</i> , © 2010 Movlab - Laboratório de Tecnologias de Interação e Interfaces).....	70
Fig. 52a/52b - Estúdio Virtual da RTP em Lisboa, equipado com um sistema de Cenografia Virtual da Orad. À dir. podemos ver suspensas na grelha superior do estúdio, câmaras especiais que procedem à monitorização da posição das câmaras de realização (fotografias realizadas por Paulo Gonçalves, 2008).	75
Fig. 53a/53b/53c/53d - Exemplos de diferentes tipos de cicloramas: a) ciclorama azul pintado com uma tinta uniforme; b) ciclorama feito de tecido cinzento retro-reflector; c) tecido verde cobrindo a totalidade das paredes do estúdio; d) pequena tela verde portátil (<i>ORAD:</i>	

	<i>Mastering VideoGraphics</i> , 2007; Grau et al. 2003; <i>Perfect fit Post</i> , 8 de Fevereiro de 2010; ©1990-2010 Virtualsets.com).....	76
Fig. 54 -	Iluminação “fria” do ciclorama do estúdio da RTP (fotografias realizadas por Paulo Gonçalves, 2008).....	77
Fig. 55 -	A luz “quente” é utilizada na iluminação dos personagens no estúdio (Vinten Radamec - Broadcast Robotics, © Vitec Group 2010).....	78
Fig. 56 -	Marcadores de posição colocados nas paredes do ciclorama, a fim de permitirem o reconhecimento da posição do <i>foreground</i> para a realização das imagens de <i>background</i> . A quantidade de marcadores de posição a serem utilizados depende do nível de <i>zoom</i> a ser aplicado ao <i>foreground</i> durante a gravação (Hummelstrand 2006).	79
Fig. 57a/57b -	Sistema de <i>Tracking</i> por <i>Pattern recognition</i> (grelha) da Orad (<i>ORAD: Mastering VideoGraphics</i> , 2007).....	80
Fig. 58a/58b -	Câmaras equipadas com sistema de <i>tracking</i> por infra-vermelhos da ORAD, na primeira imagem montada num pedestal e na segunda montada num braço mecânico (fotografias realizadas por Paulo Gonçalves no estúdio virtual da RTP em Lisboa, 2008). 81	
Fig. 59a/59b/59c -	Sistema de <i>tracking</i> por infra-vermelhos da ORAD, as câmaras podem movimentar-se livremente ou ficar assentes num pedestal/tripé (<i>ORAD: Mastering VideoGraphics</i> , 2007).....	81
Fig. 60a/60b -	Sistema de <i>tracking</i> por sensores mecânicos da Orad (<i>ORAD: Mastering VideoGraphics</i> , 2007).....	82
Fig. 61a/61b -	Sistemas de <i>tracking</i> da THOMA: Sensor-Kit Vídeo 25 (15 minutos para a sua adaptação a um tripé convencional) e o THOMA Walkfinder (sistema por infra-vermelhos) com a capacidade de funcionar num estúdio com 120 m ² nos 360° e com <i>delay</i> de apenas uma <i>frame</i> , sem necessidade de recalibração durante a produção (Thoma - dedicated to accuracy, n.d.).	83
Fig. 62 -	Furio System da F(x) MOTION: Studio Automation, Pre-Viz e Virtual Studio (Furio - Fx-motion.com, n.d.).....	85
Fig. 63a/63b/63c -	Câmara da Vintec Radamec com a câmara auxiliar e <i>cluster</i> de <i>Leds</i> incorporado (a); alvos colocados a uma altura de 3.5 a 4 m num estúdio experimental da BBC (b); câmara auxiliar e <i>cluster</i> de LED's - <i>free-d</i> (c) (<i>BBC Research Production Magic</i> , n.d.).	85
Fig. 64a/64b/64c -	a) imagem captada em estúdio com <i>bluescreen</i> ; b) <i>mate</i> ; c) imagem <i>composite</i> realizada através da utilização do <i>software</i> da <i>Ultimatte Advantage</i> (Ultimatte Corporation, © 2010 Ultimatte Corporation).....	89
Fig. 65a/65b- a)	Publicidade - Visualização 3D fotorealista do modelo da Lexus antes de entrar em produção ;b) Ciência - Visualização e simulação de dados científicos (Computer Graphics I, n.d.).	93
Fig. 66 -	Cenografia Virtual no cinema e na televisão (Even 2010).	93
Fig. 67a/67b -	As possibilidades trazidas pela constante introdução de algoritmos de <i>render</i> manifestam-se de forma extremamente diversificada nas diferentes áreas de aplicação (Carlson 2003, <i>section 19</i>).....	94
Fig. 68 -	“ <i>Phylox Séries</i> ” e “ <i>X Phylum, V3.0</i> ”, elementos criados por novos <i>softwares</i> de modelação tridimensional (Luz 2005a).....	95
Fig. 69a/69b/69c/69d -	Modelo virtual projectado por Bradley Stone para a realização de uma cenografia Virtual (<i>Bradley Stone: Artist for hire</i> ,n.d.).....	96

Fig. 70a/70b/70c – a) e b) modelação com subdivisão de polígonos (<i>software Blender</i>); b) modelação com NURBS pela técnica de modelação com gaiola de curvas. (a) e b) Evans 2003 & c) Burke n.d.).....	98
Fig. 71 - Comparação entre uma superfície esférica produzida com polígonos (superfícies lisas), com outra produzida com superfícies curvas obtidas com NURBS - uma esfera de 1000 polígonos conseguida apenas com 8 <i>patches</i> (Dykstra 2009).....	98
Fig. 72a/72b/72c/72d/72e - Operações booleanas associadas a dois sólidos primitivas: a) <i>wireframe</i> ; b) união; c) intersecção; d) subtracção A-B; e) subtracção B-A (Lehtinen 2009).	100
Fig. 73a/73b – a) modelo tridimensional em <i>wireframe</i> com sombreado; b) imagem gerada depois da aplicação de materiais e configuração do <i>layout</i> da cena do modelo representado em a) (<i>Archinteriors Vol. 2</i> . © 2000-2010 Trinity Animation Inc).....	101
Fig. 74a/74b/74c - Aplicação de um <i>vertex shader</i> para modelação da superfície ondulante que simula a água. Através da aplicação de diversas outras “tarefas” é possível chegar a um <i>rendering</i> final como o da imagem da direita.	102
Fig. 75a/75b/75c/75d/75e - Diferentes materiais controlados por <i>shaders</i> , gerados por diferentes tipos de cálculos. Estes materiais são aplicáveis através das bibliotecas de materiais do <i>software V-Ray (V.ray.materials</i> , © 2006 Dennis A. Hoppe and Marco Schrenk).	103
Fig. 76a/76b - Nestas duas imagens retiradas de um vídeo/ <i>demo</i> criado pela empresa <i>Allegorithmic</i> vemos o original e o alterado, de uma casa de banho construída exclusivamente com texturas processuais “vivas”, isto é, cujos algoritmos de cálculo alteram o seu comportamento em função do tempo decorrido (<i>Allegorithmic</i> , © 2003-2010 Allegorithmic).	104
Fig. 77a/77b - Modelo poligonal ao qual foram associadas as texturas representadas na imagem à direita (Gailunas, S, n.d.).....	105
Fig. 78a/78b/78c/78d/78e – Em e) vemos como o modelo com 1000 polígonos c), através da aplicação de um normal map d), têm na imagem final um aspecto bastante semelhante ao modelo original com 14 800 polígonos a) (<i>Lightwave Plugins for normal maps</i> , 2003). ...	106
Fig. 79a/79b/79c – Em c) vemos como a partir de um modelo de geometria complexa, a) se realiza (<i>bake</i>) um mapa de textura b) para ser utilizado como parte de um material. Quando aplicado a uma qualquer forma geométrica através de um <i>shader</i> com <i>vector displacement</i> altera completamente o resultado da superfície (aqui utilizado através do <i>software de render Vray (VRayDisplacementMod</i> , 2010)	107
Fig. 80a/80b - Na imagem à esq. muro e passeio foram renderizados com <i>parallax mapping</i> , à dir. com <i>bump mapping</i> . O método de <i>Dynamic Parallax Occlusion Mapping with soft shadows</i> permite ainda utilizar mapeamento de sombras nas superfícies e gerar dinamicamente reflexos dos objectos na cena (Tatarchuk 2006a).....	108
Fig. 81a/81b/81c/81d – a) Modelo tridimensional; b) <i>Render</i> do modelo realizado com cálculo de GI pelo <i>software Vray</i> ; c) e d) mapas de texturas com iluminação global pré-calculada para aplicação no modelo - a sua utilização diminui significativamente as necessidades de processamento do <i>render (V-Ray rendering system 1.5 SP5</i> , © 2001-2010 by Chaos Software Ltd).	109
Fig. 82a/82b/82c - Este modelo foi concebido com uma malha de 77 vértices e 44 faces ao qual foram aplicados dois mapas, o 1º de textura a) e o 2º de iluminação b), a 3ª imagem c), mostra o resultado da aplicação do <i>lightmap</i> (Miller 1999).	111

Fig. 83a/83b - <i>Cube mapping</i> , simula no objecto a reflexão do ambiente envolvente (<i>OpenGL Cube Map Texturing</i> , 2004).....	112
Fig. 84a/84b - Dois tipos de <i>rendering</i> com características totalmente diferentes. O primeira tem uma abordagem realista e a segunda procura uma abordagem do género <i>cartoon</i> (Lehtinen 2009).	113
Fig. 85 - Imagem obtida através do <i>shader mia_material</i> do motor de <i>render mental ray</i> , especialmente desenhado para reproduzir reflexos brilhantes, refrações e vidro com uma grande qualidade (<i>What is mia_material?</i> , n.d.).	114
Fig. 86a/86b/86c – Sistema de <i>tracking</i> instalado no estúdio virtual da ESCS onde dois tipos de <i>tracking</i> são utilizados: a) <i>tracking</i> por sensor mecânico; b) e c) o sistema <i>free-d</i> (ver Capítulo II, secção 2.3.4)(fotografias disponibilizadas por Miguel Baptista da ESCS).	135
Fig. 87a/87b/87c/87d – a) e b) Estúdio virtual da RTP Porto, em forma de um U fechado, além de ser o maior em Portugal utilizado em CV televisiva, é o primeiro a ter características extremamente envolventes, aumentando não só as possibilidades criativas do <i>designer</i> virtual e da forma de realização, mas também diversificando as possibilidades de movimentação das pessoas dentro do cenário; c) e d) Estúdio Virtual da Sic, parcialmente físico, parcialmente virtual, as suas características permitem realizar um leque variado de opções criativas (a) Estúdio Virtual da RTP Porto foi tratado pela VICOUSTIC, © 2008-2010 TuGuitarras; b) Pires 2010; c) e d) PanoramaAudiovisual.com, © 2009-2010 Panorama Audiovisua).....	136
Fig. 88a/88b - Imagens retiradas do <i>videogame</i> Mass Effect 2 (Janeiro 2010): a) <i>footage</i> ; b) <i>on the fly</i> (<i>Mass Effect 2 Review: The Good Shepard</i> , 2010 & Peter 2010).....	142
Fig. 89 – Cenário Virtual realizado em 2006 para a Univ. Lusófona em 3DS max com modelação de Filipe Costa Luz (imagem disponibilizada pelo autor).	144
Fig. 90 - A modelação por subdivisão permite a criação de um modelo poligonal que actua como uma “matriz” à qual corresponde a estrutura de um modelo subdividido mais suave. Quando se faz o <i>render</i> apenas a versão mais suave é tida em conta. Esta técnica é conseguida através de algoritmos, rotinas matemáticas que constroem a superfície suave (<i>subdivisionmodeling.com</i> , n.d.).....	145
Fig. 91 - Nesta imagem o modelo tridimensional do tubo do lado direito apresenta 1520 polígonos. No tubo à esquerda a optimização de polígonos foi feita por uma ferramenta do programa e o resultado não foi satisfatório, demasiados polígonos (444) e superfícies deformadas. Através de uma redução manual foi possível reduzir o modelo a 108 polígonos (tubo central), eliminando-se faces desnecessárias (incluindo as que não se encontram visíveis)(Luz 2006c).....	146
Fig. 92a/92b/92c – Em cima, cenário virtual criado pela Brainstorm, utilizado na ESCS durante o periodo de formação em 2003, no <i>software</i> eStudio (a) e <i>lightmap</i> de um dos seus elementos (b). Aquilo que parecem tubos no cenário são na realidade quadriláteros aos quais foi aplicado um material básico e um <i>lightmap</i> , que lhe confere o sombreado e respectiva ilusão de tridimensionalidade. Quando observado o cenário em alçado lateral ou numa vista superior (c), é facilmente desmascarada a falta de polígonos na modelação de todo o cenário (cenário disponibilizado por Baptista da ESCS).....	147
Fig. 93 – Cubos - Elemento tridimensional inserido no cenário representado na Fig. 89, ao qual foram aplicados materiais reflectores. A aplicação de um <i>render</i> pré-calculado sobre este elemento permite sem um grande esforço computacional conferir um efeito tridimensional e de profundidade ao cenário (imagem disponibilizada por Filipe Costa Luz).	149

Fig. 94a/94b/94c – a) e b) <i>baked textures</i> realizadas no programa de modelação com pré-cálculo de sombras projectadas; c) veja-se o resultado da sua aplicação no modelo importado para o <i>software</i> de render em tempo-real (modelo Brainstorm disponibilizado por Baptista da ESCS).	150
Fig. 95a/95b – Dois grupos de texturas utilizados nos dois cenários da Brainstorm que apresentamos neste capítulo. Consoante o objectivo, as texturas possuem resoluções maiores ou menores sendo-lhes aplicada ou não a técnica de <i>tiling</i> (imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).	151
Fig. 96 - Tratamento de imagem para a realização de uma textura criada pela repetição de uma pequena imagem ao longo de uma superfície – <i>tiling</i> . Quanto menor a textura menos processamento ela necessitará, como tal procura-se utilizar um modelo padrão tão pequeno quanto possível, a correcção das fronteiras deve eliminar manchas de cor que possam denunciar a união das imagens (Luz 2006c).	152
Fig. 97 – Anterior e posterior à definição do correcto mapeamento da textura (Luz 2006b).	153
Fig. 98a/98b/98c - Simulação de GI através da aplicação de diversas fontes de luz substituindo o cálculo de <i>raytracing</i> ; à dir. o resultado final da aplicação das diferentes luzes: 9 <i>spots</i> para luz ambiente, 9 <i>spots</i> para luz reflectida pelo chão e 8 <i>spots</i> para a luz do sol (Luz 2006a).	154
Fig. 99a/99b/99c – O cenário representado nas figuras 92a e 94c, pode ter as suas sombras aplicadas através de <i>lightmaps</i> como os representados em a), b) e c) ou pelas <i>baked textures</i> representadas nas fig. 94a e 94b; contudo, a utilização destes <i>lightmaps</i> (com canal alfa), traz a vantagem de se poder mudar de textura de material facilmente, aplicando-se sombras sem ser necessário realizar um novo <i>bake</i> do cenário; ambas as soluções eliminam a necessidade de se aplicarem luzes no cenário importado para a plataforma (imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).	155
Fig. 100a/100b/100c – ao centro, b), podemos ver <i>lightmaps</i> utilizados para a realização de focos de luz nos cenários a) e c). Este simples efeito consegue, com um custo de processamento muito inferior, realizar um efeito semelhante ao das <i>volume lights</i> (cenários Brainstorm - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).	156
Fig. 101a/101b/101c/101d -Comparação entre o resultado da aplicação de um <i>sphere mapping</i> na segunda imagem e de um <i>cube mapping</i> na quarta imagem (<i>BluffTitler DX9 - Effects</i> , © 2010 Outerspace Software).	157
Fig. 102a/102b - Qualquer tipo de imagem pode servir ao mapeamento desde que preparado como mapa esférico (<i>probe</i>), mapas com bastantes brilhos e reflexos provocam reflexos mais interessantes. O mapa esférico a) foi utilizado para criar reflexos no cenário da Brainstorm b) (imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).	157
Fig. 103a/103b/103c/103d – Para o realizador torna-se importante verificar o resultado do projecto através da colocação de uma ou mais câmaras, que permitam ter a noção da forma como se pode apresentar o espaço, as diferentes profundidades de campo, assim como os enquadramentos possíveis (cenário Brainstorm - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).	159
Fig. 104 – <i>Render</i> final do Cenário de Filipe Costa Luz em 3ds Max, antes de se proceder à importação para a plataforma de CV (imagem disponibilizada pelo autor).	160
Fig. 105a/105b - Neste modelo da Brainstorm podemos ver como a modelação foi reduzida ao essencial. Uma vez realizado o modelo existe a hipótese de escolher se os polígonos são visíveis de um ou dos dois lados. Quando observado a partir de um ponto de vista que	

não será utilizado pelo realizador constatamos que os polígonos só estão a ser calculados em função do lado visível (imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).	162
Fig. 106a/106b - Imagens promocionais do lançamento do <i>software</i> eStudio, em 2007, demonstrando as possibilidades do programa na realização de <i>bump mapping</i> (<i>eStudio v.11 - Brainstorm 10th users Meeting</i> , 2007).	164
Fig. 107 - <i>Baked textures</i> geradas a partir do <i>render</i> do chão do cenário representado na Fig.104 (imagens disponibilizadas por Filipe Costa Luz).....	166
Fig. 108a/108b/108c – Texturas utilizadas como fundo no cenário de Luz, a), e no cenário da Brainstorm b) e c); para além da importância que assume uma boa resolução da imagem de fundo, a utilização de imagens que sugiram profundidade contribuem fundamentalmente para criar o espaço virtual (imagens disponibilizadas por Luz a), e por Baptista b) e c))	167
Fig. 109a/109b – Texturas (a) utilizadas no cenário virtual (b) da Brainstorm; visto que estas imagens não vão ser visualizadas em plano apertado a resolução que lhes é dedicada pode ser bastante inferior àquela que é dada às texturas representadas nas Fig. 108a e 108b (imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).....	167
Fig. 110a/110b – A duplicação do cenário para se obterem reflexos no chão é uma prática comum e que resulta bastante convincente. Por outro lado, duplica-se a necessidade de polígonos/texturas pelo que diversas técnicas, são utilizadas por forma a simplificar o cenário suplementar (cenário Brainstorm - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).....	169
Fig. 111a/111b – Nestas imagens, observa-se o efeito provocado no chão do cenário pela colocação de um segundo cenário invertido. O facto do chão ser semi transparente permite que se vejam através dele as diferentes silhuetas (cenário Brainstorm - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).....	170
Fig. 112a/112b – Nestes dois cenários da SIC, optou-se pela captação das sombras das personagens reais sobre um chão real. No primeiro caso, a utilização de um pequeno murete real no fundo do cenário aumenta a credibilidade mesmo criando uma mistura entre o virtual e o real mais convincente . Outros tipos de técnicas de iluminação são aplicadas para que o objecto virtual pareça estar assente sobre o chão real (<i>bloomgraphics</i> , n.d.).....	171
Fig. 113 - Imagem promocional de aplicação de texturas processuais no <i>software</i> eStudio (<i>eStudio v.11 - Brainstorm 10th users Meeting</i> , 2007).....	172
Fig. 114 – Nesta perspectiva a forma como foi colocada a câmara denuncia claramente a falta de polígonos, algo a ter em conta durante a realização do cenário (cenário Brainstorm - imagem disponibilizada por Baptista da ESCS).	174
Fig. 115a/115b/115c - A presença de <i>clipplaying</i> nos cenários virtuais para noticiários é quase uma obrigatoriedade. Vejam-se os três cenários desenhados pela <i>bloomgraphics</i> para a SIC (<i>bloomgraphics</i> , n.d.).....	175
Fig. 116 – Torna-se importante para um bom resultado final da imagem compósita a aplicação do efeito de <i>anti-aliasing</i> . Nesta imagem observa-se o efeito serrilhado da borda da secretária, se este for notado quebra-se a ilusão (cenário Brainstorm - imagem disponibilizada por Baptista da ESCS).	176
Fig. 117- <i>Avatar</i> (James Cameron, 2009), a produção de Realidades Aumentadas é exímia na integração dos elementos, sendo difícil distinguir o virtual do real (<i>Entertainment News</i> , 23 de Março de 2010).....	253

Fig. 118a/118b - A atriz Zoë Saldana interpretando a sua personagem digital Neytiri através da técnica de <i>Performance Capture</i> (<i>Avatar original HQ video Behind the Scenes {farooq}</i> , 2009).	254
Fig. 119a/119b - <i>Avatar</i> (2009), Cameron escolheu o <i>greenscreen</i> para a captação das imagens reais que resultariam após composição digital nestas imagens (kinopoisk.ru & Martins 2009)	255
Fig. 120 - Câmara de filmar estereoscópica desenvolvida de propósito para a realização de <i>Avatar</i> , a mesma permite filmar em 2D e em 3D (<i>digitalacting.com</i> , 2010).	256
Fig. 121 - O mundo virtual de " <i>Pandora</i> " foi criado pela empresa de Efeitos Digitais de Peter Jackson – WETA Digital (Antunes 2010).	257
Fig. 122a/122b - Jake Sully na pele do seu avatar e Neytiri; repare-se na expressividade conseguida nas personagens digitais.	257
Fig. 123a/123b/123c/123d - Sistema de captação da expressão facial com capacete personalizado e uma câmara de filmar incorporada; os elementos recolhidos são transformados em informação 3D por <i>software</i> apropriado.	258
Fig. 124a/124b - <i>The Volume</i> – estúdio preparado especialmente para a <i>Performance Capture</i> .	259
Fig. 125 - <i>Avatar</i> , surge talvez como um esboço do cinema do futuro (<i>digitalacting.com</i> , 2010).	260
Fig. 126 - ENIAC - <i>Electronic Numerical Integrater and Calculator</i> (1946) (Carlson 2003, <i>section 1</i>).	262
Fig. 127 - Tubo de vácuo e Transistor (1950-1960) (Carlson 2003, <i>section 1</i>).	263
Fig. 128 - Computador PDP-1, o primeiro " <i>minicomputer</i> "(1960) (Carlson 2003, <i>section 1</i>).	264
Fig. 129 - Apple II (1977) (Samuels 2000)	264
Fig. 130 - Primeiro computador portátil Osborne I (1981) (<i>Maravilhas da Tecnologia</i> , 2009)	265
Fig. 131 - Super computador IBM <i>Roadrunner</i> (2008) (Carsten 2009).	266
Fig. 132 - O computador <i>Whirlwind</i> gera e revela as posições dos aviões na consola (1951)(Carlson 2003, <i>section 2</i>).	266
Fig. 133a/133b - Ivan Sutherland no MIT – <i>Sketchpad</i> (1961) e pormenor da <i>Light Pen</i> utilizada no <i>Sketchpad</i> (Carlson 2003, <i>section 3</i> & Remaeh 2009).	267
Fig. 134 - IBM 2250 – o primeiro computador para gráficos (1964)(Carlson 2003, <i>section 3</i>).	268
Fig. 135 – Exemplo da técnica de <i>Phong shading</i> em vidro transparente (Carlson 2003, <i>section 4</i>).	269
Fig. 136a/136b – a) imagem criada com o programa <i>Paint</i> ; b) aplicação de <i>Bump mapping</i> , técnica criada por James Blinn (Carlson 2003, <i>section 4 e 5</i>).	270
Fig. 137 - <i>Nintendo Family System</i> (1983) (Carlson 2003, <i>section 5</i>).	271
Fig. 138 - J. Kajiya. <i>The Rendering Equation</i> . Proc. of SIGGRAPH '86 (Dallas cit. Carlson 2003, <i>section 19</i>).	271
Fig. 139a/139b - Reflexos directos, radiosidade de reflexos difusos, <i>photon mapping</i> , entre outras técnicas são utilizadas na criação de imagens foto-realistas. As diversas técnicas combinadas tentam aproximar-se o mais possível da equação de <i>rendering</i> de Kajiya. As duas imagens foram criadas com o programa Pov Ray respectivamente por Gilles Train e Jaime Vives Piqueres (povray.org, © 1994-2007 Hallam Oaks Pty. Ltd.)	272
Fig. 140 - <i>Render</i> fotorealista de um rosto humano, 2007 (<i>Universal Virtual Human Interface</i> , © V.R.Consulting).	273

Fig. 141 - Projecto CGI fotorealista da Image Metrics sobre a actriz Emily O'Brien (<i>technabob</i> , 2008)	275
Fig. 142 - O Sensorama, inventado por Morton Heilig em 1961	276
Fig. 143 - "The Ultimate Display," Sutherland, I.E. (<i>Proceedings of IFIPS Congress 1965</i> in Carlson 2003, section 17)	277
Fig. 144 – Exemplo da técnica de Gouraud <i>shading standard</i> com dois pontos de luz (<i>SunXi Screenshots</i> , 2008)	278
Fig. 145a/145b - Capacete Super Cockpit e visão do usuário com capacete (Remaeh 2009)	280
Fig. 146 - Utilizador interagindo no VIDEOPLACE (Levin 2006)	281
Fig. 147a/147b - VIVED <i>Virtual Visual Environment Display</i> , 1984 (Remaeh 2009 & <i>NASA Virtual Environment Workstation</i> , n.d.)	282
Fig. 148a/148b - Grimes Digital Data Entry Gloves e Data Glove de Thomas Zimmerman (Carlson 2003, section 17 & Remaeh 2009)	283
Fig. 149 - Experiências conduzidas na UNC - University of North Carolina em Chapel Hill (Carlson 2003, section 5)	284
Fig. 150 - Sistemas de <i>tracking</i> Polhemus FASTrak and VISIONTrak (Carlson 2003, section 17)	285
Fig. 151 - Eric Howlet com o LEEP video System I (Howlett, E 1990)	286
Fig. 152a/152b - CAVE – Automatic Virtual Environment, 1992, desenvolvido por Carolina Cruz-Neira, Dan Sandin e Tom DeFanti (Wenhardt 2008)	287
Fig. 153 - John Baird, invento utilizado na sua demonstração ao <i>Royal Institution</i> (Birkmaier 2008)	289
Fig. 154a/154b – a) Televisor electrónico de 180 linhas, D. S. Loewe, 1935; b) Câmara televisiva de 1936 (<i>Television History - The First 75 Years</i> , 2001-2009 © TVhistory.TV & <i>A História da Televisão: da sua invenção ao início das transmissões a cores</i> , © MAGIA Comunicações 1998 – 2010)	289
Fig. 155 - Orticon (1945), iconoscópio (<i>A História da Televisão: da sua invenção ao início das transmissões a cores</i> , © Magia Comunicações 1998 – 2010)	290
Fig. 156 - Modelo RCA, 12" Model 2T5I, EUA, 1950 (<i>Television History - The First 75 Years</i> , 2001-2009 © TVhistory.TV)	291
Fig. 157 – Anúncio de televisão a cores da RCA, 1965 (<i>Television History - The First 75 Years</i> , 2001-2009 © TVhistory.TV)	292
Fig. 158 – Fornecedores de Televisão por cabo ou por satélite instalam plataformas controladas por telecomandos que permitem aos espectadores: gravar; parar emissões em directo; retomar a visualização noutra altura; consultar a programação dos diferentes canais entre outras funcionalidades (<i>meo-Funcionalidades</i> , PT © 2010)	293
Fig. 159a/159b - Estúdio virtual com tecido retro-reflector e câmara equipada com um anel de LED's. A luz emitida pelo anel luminoso possibilita a obtenção de uma boa imagem da acção em estúdio por contraste com o tecido retro-reflector <i>Truematte</i> (Grau 2002)	296
Fig. 160 - Imagem produzida pelo Science & Technical Research Laboratories da NHK (Kawakita et al. 2004)	298
Fig. 161 - As definições de contorno (<i>shapening</i>) da própria câmara podem dificultar a realização de um bom <i>chroma-key</i> (Hummelstrand 2006)	299

Fig. 162 - Definição de imagens de <i>foreground</i> com movimentos rápidos (Hummelstrand 2006).	300
Fig. 163 - Imagem obtida a partir de uma gravação com a câmara rodada 90° em relação ao plano horizontal convencional (Hummelstrand 2006).	301
Fig. 164a/164b - A introdução de objectos com que os actores possam interagir facilita o processo de encenação. A existência de um <i>storyboard</i> beneficia todos os intervenientes (Hummelstrand 2006).	303
Fig. 165a/165b - A utilização de objectos brilhantes na realização de programas com <i>blue/greenscreen</i> obriga à execução de um trabalho rotoscópico sobre os mesmos, visto que o programa de <i>software</i> , o <i>keyer</i> , não consegue definir a linha que separa o <i>chroma</i> do <i>foreground</i> (Hummelstrand 2006).	305
Fig. 166 – Para se evitar o efeito de <i>spill</i> cobrem-se zonas que poderão reflectir a cor do <i>chroma</i> no <i>foreground</i> e que não são captadas pela câmara na imagem final (Hummelstrand 2006).	307
Fig. 167 - Informação recolhida por uma amostra de cor captada a 4:4:4 (Hummelstrand 2006).	307
Fig. 168 - Informação recolhida por uma amostra de cor captada a 4:1:1 (Hummelstrand 2006).	308
Fig. 169 – Capacidade de aumentar o espaço do cenário em função do número de convidados (<i>Virtualset design</i> , ©1990-2010 Virtualsets.com).	310
Fig. 170 - Os actores e apresentadores podem mover-se dentro do cenário virtual interagindo com os objectos virtuais (<i>Virtualset design</i> , ©1990-2010 Virtualsets.com).	311
Fig. 171 - Imagem ilustrativa do <i>software</i> disponibilizado pela <i>Ultimatte</i> para aplicação do efeito de desfocado ao fundo tornando assim a imagem compósita mais realista (<i>Ultimatte Corporation</i> , © 2010 Ultimatte Corporation).	312
Fig. 172 - Inserção de grafismos durante a realização de um programa com cenário virtual (<i>Virtualset design</i> , ©1990-2010 Virtualsets.com)	312
Fig. 173 - Imagem de exterior com fundo orgânico conseguida através de composição digital (<i>Virtualset design</i> , ©1990-2010 Virtualsets.com).	313
Fig. 174 - Utilização das possibilidades da Cenografia Virtual para a criação do efeito de holograma num programa dedicado às eleições norte-americanas (CNN) (Dillon 2008).	313
Fig. 175 - Imagens de um cenário virtual trabalhado com <i>software</i> da <i>Ultimatte</i> . Esta empresa tornou-se especialmente conhecida pelos desenvolvimentos introduzidos no controlo das sombras dos apresentadores/actores tornando o processo o mais realista possível (<i>Ultimatte Corporation</i> , © 2010 Ultimatte Corporation).	314
Fig. 176 – Nesta imagem a apresentadora parece “flutuar” no meio do cenário virtual. O realizador pode evitar esta sensação de suspensão pela forma como dirige o programa evitando os planos alargados ou utilizando-se um chão escuro (<i>ORAD: Mastering VideoGraphics</i> , 2007).	315
Fig. 177a/177b - À direita marcadores rectangulares servem para que o apresentador se possa orientar no manuseamento daquilo que serão gráficos 3D na imagem compósita final. Este processo exige sempre um ensaio prévio (Thomas 2007a).	316
Fig. 178a/178b – a) personagem CG, Shrek, concebido com cerca de 100.000 polígonos e com texturas extremamente elaboradas; b) um cenário virtual concebido com muito menos polígonos de forma a poder ser renderizado em tempo-real. A título de comparação, no caso de ser utilizado um sistema Cyberset NT da Orad, este comporta apenas um máximo	

de 20 000 polígonos para <i>render</i> em tempo-real, no entanto a partir de 15 000 já é possível que surjam problemas durante o <i>render</i> (Fiore 2009 & Heo 2009).	317
Fig. 179a/179b – a) imagem captada pela câmara no estúdio; b) imagem pré-visualizada em tempo-real pelo realizador durante a gravação do programa (Grau et al. 2003).....	318
Fig. 180 - <i>Feedback</i> imersivo para os actores através da utilização de tecido rectro-reflectivo - <i>Truematte</i> (Grau 2005).	319
Fig. 181 - Reconstrucção 3D da acção captada em estúdio com redução do número de polígonos para processamento do cálculo das sombras sobre o cenário virtual (Grau 2004).	320
Fig. 182 - Imagem final resultante da aplicação dos dados captados do modelo 3D da acção real para o cálculo das sombras e integração na imagem virtual (Grau 2004).....	321
Fig. 183 - Projecto <i>iView</i> , a reconstrução da cena em 3D permite ao espectador fazer o <i>Replay</i> desejado com o tipo de perspectiva interactiva <i>fly around</i> (BBC Research - Production Magic, BBC © MMX).	322
Fig. 184 - Sistema Cartesiano de Coordenadas - Vistas <i>Top</i> , <i>Front</i> e <i>Left</i> , projecções ortográficas dos objectos (Luz 2002)	323
Fig. 185 - Viewports no 3ds max 2010, vistas ortogonais e perspectiva (<i>Start 3D</i> , 2010).....	324
Fig. 186a/186b/186c/186d – a) vértice; b) aresta; c) face; d) polígono; a definição das superfícies no espaço tridimensional faz-se através de malhas de polígonos (Lehtinen 2009).	325
Fig. 187 - Modelo realizado através de modelação com poucos polígonos (<i>lowpoly</i>), e o mesmo modelo depois de aplicada a subdivisão de superfícies (Lehtinen 2009).....	326
Fig. 188 - Primitivas simples (Lehtinen 2009).....	327
Fig. 189 - Primitivas complexas (Barata & Santos 2010, <i>passim</i>)	328
Fig. 190a/190b - Deformação das superfícies com base numa <i>spline</i> e numa superfície curva (Barata & Santos 2010, pp. 196-197).....	331
Fig. 191a/191b - Diferentes algoritmos efectuam o cálculo para a subdivisão das superfícies (UV Mapper 2009 & Lomont 2006).....	333
Fig. 192 - Modelação com subdivisão de polígonos (Evans, © 2003 All artworks Christopher Evans).	334
Fig. 193 - Aplicação de um dos modificadores do 3ds Max 2010, <i>Quadify Mesh</i> . Suaviza as arestas alterando as faces triangulares do 3ds Max, para faces rectangulares. (Vieira, n.d.).	334
Fig. 194a/194b - Visão lateral de malha subdividida. Com normais aleatórias (topo) e normais coerentes (abaixo). Visão sólida de uma malha subdividida com normais inconsistentes (acima) e normais recalculadas (abaixo) (<i>blender.org</i> , 2010).....	335
Fig. 195 - A animação de Victor Navone <i>Alien Song</i> , produzida em 1999 grangeou uma grande projecção a nível internacional ao demonstrar as possibilidades da utilização de <i>software</i> (<i>Animation Master</i>), dedicado exclusivamente à utilização de superfícies desenhadas com base em modelos matemáticos (Dykstra 2009).....	336
Fig. 196 - A curva (<i>spline</i>) B é definida por dois pontos/vértices (C) que por sua vez são controlados por dois manipuladores (H), neste caso tangentes aos pontos C. O centro da curva é o ponto O (<i>blender.org</i> , 2010).	337
Fig. 197 - Duas resoluções diferentes de uma linha de Bézier controlada pelo <i>software</i> Blender (<i>blender.org</i> , 2010).	338

Fig. 198 - Componentes de uma NURB (Luz 2002, Parte II)	339
Fig. 199 - Modelação com NURBS (<i>Human models</i> , n.d.)	340
Fig. 200 - Objectos de revolução: rotação de uma forma ou curva NURBS em torno de um eixo (Barata & Santos 2010, p.223).....	341
Fig. 201 - Extrusão de uma secção ao longo de uma curva/ <i>spline</i> (Barata & Santos 2010, p.226)...	342
Fig. 202a/202b/202c - Exemplo de Extrusão de curvas ao longo de guias (<i>rails</i>) (Luz 2002, Parte IV & Autodesk Maya Help 2011, © 2000-2010 Autodesk).	342
Fig. 203a/203b - Geração de um objecto através de secções sucessivas (Luz 2002, Parte II & Parte IV)	343
Fig. 204a/204b - Método de geração de superfícies por definição das linhas que formam a fronteira (Autodesk Maya Help 2011, © 2000-2010 Autodesk).....	343
Fig. 205 - <i>Blending</i> de duas superfícies modeladas com NURBS (Autodesk Maya Help 2011, © 2000-2010 Autodesk).	344
Fig. 206a/206b/206c - A modelação de letras em 3D é extremamente útil na produção de logotipos e animações com letras (Autodesk Maya Help 2011, © 2000-2010 Autodesk).	344
Fig. 207 - Modelação com NURBS pela técnica de modelação com gaiola de curvas (Lehtinen 2009).	345
Fig. 208a/208b/208c/208d/208e - Operações booleanas associadas a dois sólidos primitivas: a) <i>wireframe</i> ; b) união; c) intersecção; d) subtracção A-B; e) subtracção B-A (Lehtinen 2009).	347
Fig. 209 - Modelação de uma porca com NURBS através de operações booleanas (<i>digital-tutors</i> , © 2002-2010 Digital-Tutors, a service of PL Studios, Inc)	347
Fig. 210a/210b - Bloco recortado em 3ds Max FX utilizando o comando PROCUTTER e o <i>plug-in</i> REACTOR (Renaud 2009).....	348
Fig. 211a/211b/211c - Modelo tridimensional em <i>wireframe</i> (a), sombreado (b) e imagem renderizada depois da aplicação de materiais e configuração do <i>layout</i> da cena (c) (Lehtinen 2009). 349	
Fig. 212 - A – Cor especular (<i>Specular</i>); B – Cor difusa (<i>Diffuse</i>); C – Cor ambiente (<i>Ambient</i>) (Luz 2002, Parte III).	350
Fig. 213 - Caixa de diálogo utilizada na realização de materiais básicos no 3ds Max (Yalman 2010).	351
Fig. 214a/214b - Cesto de papéis realizado através da aplicação de um material em modo de arame - <i>Wire</i> . Em b) o objecto foi calculado com um algoritmo de <i>raytrace</i> (<i>Elakiri.com</i> , 2007). ...	352
Fig. 215a/215b/215c - Aplicação de um <i>vertex shader</i> para modelação da superfície ondulante que simula a água. Através da aplicação de outros efeitos é possível chegar a um <i>rendering</i> final como o da imagem c) (Jensen & Goliás 2001).	353
Fig. 216 - A aplicação de <i>shaders</i> diferentes na superfície do objecto pode conduzir a resultados completamente diferentes; na imagem da esquerda o material parece suave e aveludado enquanto na imagem da direita o material tem uma aparência fria e metálica (<i>3dRender.com</i> , 2001).	355
Fig. 217 – A utilização de <i>software</i> especial, permite obter este efeito de bola de pelo sem recorrer a uma modelação demasiado densa em termos de polígonos durante a execução do <i>render</i> (Lehtinen 2009).	356

Fig. 218 - <i>Render</i> realista criado através da aplicação de materiais mapeados (<i>Okino Computer Graphics</i> , © 1995-2009 Okino Computer Graphics, Inc.).....	357
Fig. 219a/219b - à esq. textura processual aplicada ao modelo de uma ânfora com aplicação de <i>perlin noise</i> , simulando mármore como material; à dir. texturas processuais 2D e 3D geradas por diferentes algoritmos (Carlson 2003, <i>section 19</i> & <i>SpinQuad Lightwave 3D Community</i> , 2005).....	358
Fig. 220 - Texturas processuais realizadas com <i>Renderman</i> . A sua geometria comporta-se como “geometria real” independentemente do ângulo de visão e das interações que possam surgir com o objecto (<i>valdex.com</i> , n.d.).....	359
Fig. 221 - Nesta imagem o sol é apenas um quadrilátero ao qual foi aplicado uma textura dinâmica através de um <i>pixel shader</i> . Radiação, explosões na superfície e animação, são calculados através da aplicação de <i>Perlin Noise</i> (<i>valdex.com</i> , n.d.).....	360
Fig. 222 - Diferentes valores de ruído permitem calcular os diferentes estágios de uma explosão (Spitzer, n.d.).....	361
Fig. 223a/223b - O <i>plug-in IFW2_Organic Procedural Texture</i> apresenta quatro tipos de <i>shaders</i> de água. Este <i>plug-in</i> permite trabalhar a introdução do ruído a partir de texturas pré-programadas diversas, tais como texturas orgânicas, que simulam pele, mosaicos ou fractais. Em baixo imagens retiradas de uma animação realizada com este <i>plug-in</i> (<i>IFW2 Textures for Lightwave</i> , n.d.).....	362
Fig. 224 - Texturas para aplicação do efeito de distribuição de ruído (<i>noise - turbulence</i>) em diferentes oitavas (Spitzer, n.d.).....	363
Fig. 225 - Imagem foto-realista produzida 100% com texturas processuais através da aplicação de <i>software</i> da empresa <i>Allegorithmic</i> (<i>Allegorithmic</i> , © 2003-2010 Allegorithmic).....	364
Fig. 226 - Imagem retirada do videojogo <i>Roboblitz</i> (2006) desenvolvido pela empresa <i>Naked Sky Entertainment</i> para a Xbox360, integralmente produzido com texturas processuais (<i>Zwame forum</i> , © ZWAME 2008-2010).....	365
Fig. 227a/227b - A parte mais fascinante da aplicação desta nova geração de texturas processuais é o facto dos jogos poderem reagir ao ambiente como seres vivos. Plantas, cabelo e barbas crescem ao longo do jogo, tal como o sol nasce e se põe enquanto decorre a acção. Nestas duas imagens retiradas de um vídeo/demo criado pela empresa <i>Allegorithmic</i> vemos o antes e depois de uma casa de banho construída exclusivamente com texturas processuais dinâmicas, cujos algoritmos de cálculo alteram o seu comportamento em função do tempo decorrido (<i>Allegorithmic</i> , © 2003-2010 Allegorithmic).	366
Fig. 228a/228b/228c - a) modelo gerado a partir da técnica de <i>lowpoly</i> (realização de Ferran Adzarà Hernández; b) texturas associadas ao modelo; c) cena final depois de aplicadas as texturas (Hernández 2009).....	368
Fig. 229 - Mapa UV da cabeça de um gorila e aplicação no modelo tridimensional (UV Mapper, 2009).	369
Fig. 230- O <i>plug-in Unwrella</i> para os programas <i>Autodesk 3ds Max</i> e <i>Maya</i> realiza o <i>unwrapping</i> de modelos tridimensionais automaticamente. O desdobraimento do modelo é realizado em função da resolução dos píxeis da textura e utiliza as linhas de costura definidas pelo utilizador. Entre as suas vantagens estão também a redução da detectabilidade das costuras entre texturas e a minimização do aspecto de <i>stretching</i> das imagens para se adaptarem às formas 3D. É apropriado para a utilização em modelos orgânicos, humanos e industriais (<i>Update on Unwrella</i> , 2008).....	370

Fig. 231a/231b - Textura <i>alpha</i> para aplicar em conjunto com textura de imagem. Em b) vemos a aplicação das duas num material realizado no <i>software</i> Lux Render (Brito 2009a).	371
Fig. 232a/232b - Uma das características mais importantes para se obterem diferentes efeitos através da utilização das texturas <i>alpha</i> (<i>alpha maps</i>) é poderem-se calcular sombras através das zonas transparentes (Brito 2009a).....	371
Fig. 233a/233b - Modelo antes e depois de aplicado o efeito de <i>bump mapping</i> (rugosidade) (<i>Answers.com</i> , © 2010 Answers Corporation).	372
Fig. 234a/234b/234c/234d – a) modelo de alta resolução e dois modelos de baixa resolução de polígonos; b) <i>unwarp</i> do modelo de alta resolução para criação do <i>normal map</i> ; c) à esq. <i>render</i> do modelo de alta resolução sem mapa aplicado, ao meio e à dir. modelos de baixa resolução com <i>normal map</i> aplicado; d) <i>normal map</i> do modelo criado por David Maas (<i>Lightwave Plugins for normal maps</i> , 2003.).....	374
Fig. 235a/235b – a) cada sub-mapa é metade do anterior, no limite o último mapa tem o tamanho de um <i>Texel</i> ; b) o mesmo mapa com diferentes níveis de resolução (<i>East India Company</i> , © 2009 Nitro Games Ltd).....	375
Fig. 236a/236b - Terreno realizado inicialmente com 110 000 polígonos ao qual foi aplicado um <i>2D displacement map</i> através de uma textura de procedimento, o resultado final ultrapassa um bilião de triângulos. Este tipo de mapeamento não poderia ser aplicado numa situação em que fosse necessário um <i>rendering</i> em tempo-real (Smits, Shirley & Stark 2000).....	378
Fig. 237a/237b - Aplicação de uma textura de procedimento no deslocamento da pele do personagem (<i>VRayDisplacementMod</i> , 2010).	379
Fig. 238 - Deslocamentos efectuados numa superfície acima e abaixo do nível 0 (<i>VRayDisplacementMod</i> , 2010).....	380
Fig. 239a/239b/239c - Em a) vemos como através da aplicação de um mapa de textura RGB b) e de um <i>shader</i> com <i>vector displacement</i> , se consegue alterar tridimensionalmente nas 3 direcções o resultado da superfície do modelo (c)(XSI Base.com © 2002-2009 XSI Base.com).....	380
Fig. 240a/240b – a) <i>FarCry</i> (2005); b) <i>Half Life 2</i> (2005) (a) Espaço do Gamer, n.d. & b) <i>Game over</i> , 2009)	382
Fig. 241a/241b - <i>Mass Effect 2</i> (2009); <i>Heavy Rain</i> (2010) (O'Connor 2009 & Barlow 2009)	383
Fig. 242 - Modelo <i>lowpoly</i> com aplicação de texturas como material para integração num videojogo: modelo de Luis António (<i>Musalive: The art of Luis Antonio</i> , © 2003-2009 by Luis Antonio)	384
Fig. 243 - Comparação the quatro métodos de <i>bump mapping</i> aplicados a um quadrilátero simples (McGuire & McGuire 2005).	385
Fig. 244a/244b - Pêlo aplicado pelo método de <i>steep parallax mapping</i> ; a imagem b) corresponde a um <i>close up</i> sobre um polígono (McGuire & McGuire 2005).....	386
Fig. 245a/245b/245c – a) modelo do bule de Utah ao qual foi aplicada a técnica de <i>Relief Mapping</i> ; b) textura com sombras pré-calculadas e luz difusa colorida; c) mapa de profundidade (Policarpo, Oliveira & Comba, 2005).	387
Fig. 246a/246b/246c/246d – a) e b) mapas de profundidade; c) imagem renderizada com utilização de apenas um mapa de profundidade (notem-se as indefinições nos limites da figura); d) figura renderizada pela técnica de <i>Relief Textures</i> com aplicação de dois mapas de profundidade e uma textura para simular madeira, os contornos tornam-se mais definidos	

pela aplicação de mais do que um mapa de profundidade (Policarpo, Oliveira & Comba, 2005).	388
Fig. 247a/247b/247c/247d – a) <i>Bump Mapping</i> ; b) <i>Horizon Mapping</i> ; c) <i>Displacement mapping</i> convencional; c) <i>View-dependent displacement mapping with self-shadowing</i> (Wang et al. 2003).	389
Fig. 248 - <i>Real-Time High-Quality View Dependent Texture Mapping using Per Pixel Visibility</i> ; a cada ponto de vista correspondem 3 tipos de texturas: mapa de cor, mapa de profundidade e mapa de normais (Porquet 2005).	390
Fig. 249a/249b - Personagem de <i>videogame</i> renderizada com <i>soft shadows</i> (Campbell, © 2010 Heaven Media Ltd).....	392
Fig. 250a/250b - Na imagem b) ambos, bomba e passeio, foram renderizados com <i>parallax occlusion mapping</i> ; a) o mesmo exemplo apenas com <i>normal mapping</i> ; o <i>parallax occlusion map</i> permite ainda utilizar mapeamento de sombras nas superfícies e calcular dinamicamente reflexos dos objectos na cena (Tatarchuck 2006a).	393
Fig. 251 - Luzes fotométricas aplicadas com o <i>software</i> Lightwave 3D 9.5 (2008) (<i>Newtek Lightwave 3D 9.5 Released</i> , 2008).....	394
Fig. 252a/252b - A utilização de luzes fotométricas na concepção de cenários virtuais facilita o processo de replicação do ambiente real. Estão hoje disponíveis diversas bibliotecas de luzes fotométricas que dão uma imensa liberdade de escolha ao cenógrafo virtual (<i>MrCAD 3D News</i> , n.d.& <i>bloomgraphics</i> , n.d.).....	397
Fig. 253a/253b -Tipo de imagem fotorealista que beneficiaria do tipo de cálculos de luminosidade baseados na hora do dia, época do ano, latitude e longitude (<i>heroturko.org</i> , n.d.).	398
Fig. 254 - <i>Luz Ambiente</i> , este tipo de luz faz com que todos os lados da mesma cor do objecto percarn sombreamento (Valinho et al. 2007).	399
Fig. 255a/255b -Tipos de reflexo de luz e forma como estes se apresentam depois de aplicados num modelo 3D (Valinho et al. 2007).....	400
Fig. 256 - Efeito de Fresnel – ao olhar directamente para baixo numa piscina observam-se menos reflexos do que se se olhar a partir de um ângulo mais afastado (Valinho et al. 2007).	400
Fig. 257a/257b – a) sombras fortes; b) sombras suaves (Valinho et al. 2007).	401
Fig. 258 - A <i>Depth map shadow</i> baseia-se numa matriz de medição de distância desde o posicionamento da fonte de luz até ao modelo (Valinho et al. 2007).	402
Fig. 259a/259b - À esquerda sombra suave calculada através de um <i>dmap</i> com aplicação de filtro; à direita a sombra do mesmo cilindro é calculada com GI (Valinho et al. 2007).	403
Fig. 260a/260b - Na figura da esquerda a bola não se integra na totalidade pois não existe sombra, a introdução de uma luz secundária na segunda imagem ligada apenas ao sólido-bola, permite a criação de uma sombra mais destacada dentro da sombra criada pela luz principal (Valinho et al. 2007).....	403
Fig. 261 - Na imagem os raios amarelos mostram a luz proveniente da fonte de luz e os raios vermelhos representam os raios bloqueados pela geometria, indicando que os pontos ao serem processados pelo <i>Render</i> estão numa sombra (Valinho et al. 2007).	404
Fig. 262 - Nesta imagem calculada com <i>raytraced</i> as sombras assumem a cor dos objectos transparentes, sendo elas próprias transparentes (Valinho et al. 2007).	405

Fig. 263 - O parâmetro <i>shadow color</i> torna-se uma ferramenta muito útil quando existe sobreposição de sombras, pois permite destacar uma determinada sombra durante um teste de renderização (Valinho et al. 2007).....	405
Fig. 264a/264b - Na concepção de texturas é de suma importância o domínio do 2D digital, a qualidade das mesmas influencia de forma directa o resultado final. O número de detalhes que se podem introduzir fazem desta técnica um poderoso auxiliar na modelação de 3D (Valinho et al. 2007).....	407
Fig. 265a/265b/265c - Este modelo foi concebido com uma malha de 77 vértices e 44 faces ao qual foram aplicados dois mapas, o 1º de textura e o 2º de iluminação, a 3º imagem mostra o resultado da aplicação do <i>lightmap</i> (Miller 1999).....	408
Fig. 266a/266b - As <i>baked textures</i> oferecem um aspecto externamente realista com um custo computacional muito inferior ao gerado pelo processamento de todas as características do <i>layout</i> de cena (Max Realm.com, 2009).....	409
Fig. 267 - Diferentes tipos de <i>environment maps</i> utilizados para o cálculo de reflexos do ambiente envolvente captados a partir de uma cena real (The HDRI Handbook, ©2008 - 2009 Kirt Witte, Christian Bloch).....	411
Fig. 268 - Exemplo de 6 imagens de textura utilizadas na construção de um <i>Cube Map</i> (Fernando & Kilgard 2003).....	413
Fig. 269 - Método utilizado no cálculo da direcção do ponto de vista reflectido a partir do ponto da superfície até ao ponto do <i>cube map</i> (Fernando & Kilgard 2003).....	414
Fig. 270a/270b - Apesar de não ser uma representação fisicamente correcta, em superfícies muito curvas dão uma boa ilusão de superfície reflectora com um custo computacional bastante inferior ao do <i>ray tracing</i> (Pohl 2008 & NVIDIA developer zone, 2004)	414
Fig. 271 - Imagem rendida com <i>environment mapping</i> ao qual foi aplicado o efeito aproximado de Fresnel e dispersão cromática (Fernando & Kilgard 2003).....	416
Fig. 272 - Imagem retirada de uma <i>Demo</i> de Masaki Kawase em <i>Real Time HDR Image Based Lighting</i> . Os brilhos nas janelas e os reflexos no objecto são conseguidos através de um <i>shader</i> aplicado em pós-processamento (Campbell, n.d.).....	417
Fig. 273a/273b - Personagem virtual inserido em dois ambientes reais diferentes. A iluminação do modelo foi realizada com base na utilização de HDRI's (The HDRI Handbook, ©2007-2010 Christian Bloch).....	418
Fig. 274a/274b/274c/274d - Diferentes tipos de vistas de câmaras parametrizáveis no <i>software</i> Softimage (Luz 2002)	419
Fig. 275a/275b/275c - O efeito <i>Depth of Field</i> acontece quando focamos algum elemento da cena real e elementos anteriores ou posteriores aparecem desfocados na imagem. Quando aplicado sobre uma cena modelada permite tornar mais realista a composição final. Nestas imagens foi utilizado <i>software</i> da Ultimatte (<i>Ultimatte 9</i> , © 2010 Ultimatte Corporation).....	420
Fig. 276 – <i>Rigging</i> de Blit Wizbok, boneco animado para a animação “Alien Song “ de Victor Navone (Navone, n.d.)	422
Fig. 277a/277b - O tipo de cálculo de geração de imagem aplicado determina o efeito final da imagem; a) imagem produzida para uma sequência do filme Avatar através de poderosas <i>renderfarm's</i> e com <i>raytracing</i> ; b) imagem produzida em tempo-real durante a utilização do videojogo Heavy Rain através de cálculos de <i>render</i> acelerado por <i>hardware</i> (Mariano 2010 & Cnet Reviews, 2009).....	425

Fig. 278 - <i>Imaged-based rendering</i> – esta imagem foi calculada a partir de 54 fotografias (Shum & Kang 2000).....	428
Fig. 279 - No final a cena é gerada pela soma do cálculo da luz difusa, especular e reflectividade (Birn 2000a).....	429
Fig. 280 - Cena composta por camadas - efeito, fundo e ovni foram calculados em <i>layers</i> diferentes e conjugadas posteriormente (Valinho et al. 2007).....	430
Fig. 281 - Imagem renderizada pelo programa da Maxon - Cinema 4D, utilizando algoritmos de <i>Global Illumination</i> (Maxon - <i>3D for the Real World</i> , © 2010 Maxon Computer).....	432
Fig. 282a/282b – a) a luz atinge a bola vermelha reflectindo a mesma luz avermelhada nos objectos em redor. Este parâmetro confere ao chão branco em torno da bola um tingimento a vermelho. O efeito é subtil, mas uma vez que o olho humano está acostumado a ele no mundo real, a reprodução desse efeito ajuda a criar a ilusão. Na fig. b) é notável a diferença dos resultados obtidos com um <i>Render</i> com iluminação directa e outro calculado com radiossidade (Radiosity, © 2010 WordIQ.com & Chittim 2008).....	433
Fig. 283 - O <i>raytracing</i> funciona de maneira contrária ao comportamento da luz. Os raios utilizados no cálculo são emitidos a partir do ponto de vista do observador e não da fonte de luz (Ivan 2010).....	435
Fig. 284 - <i>Render</i> produzido através do <i>Software Kerkythea</i> com aplicação de <i>ray tracing</i> (Aurélio 2008).....	436
Fig. 285 - O efeito de luz <i>caustics</i> , consegue reproduzir os efeitos de luz provocados por superfícies refractivas irregulares tais como os reflexos de água numa piscina sobre o ambiente envolvente (Waters 2003).....	438
Fig. 286a/286b/286c - Na fig. c) vemos como a oclusão de ambiente e a luz indirecta realçam a luz ambiente; a título comparativo temos que na cena a) só é usada luz ambiente e a figura parece muito lisa; na figura b) foram acrescentadas sombras suaves através de oclusão de ambiente; na fig. c) foi acrescentada luz indirecta à oclusão de ambiente para um nível de realismo superior (Bunell 2005).....	440
Fig. 287 - Imagem obtida utilizando o método de <i>scanline rendering</i> (<i>Unidev:Programação de Jogos</i> , 2003).....	441
Fig. 288a/288b/288c – a) modelo simplificado; b) modelo suave depois de tesselado; c) modelo depois de aplicado um mapa de deslocamento; aplicada em tempo-real esta técnica permite que os personagens dos videojogos atinjam um realismo cinematográfico (<i>NVIDIA: DirectX 11 Tessellation</i> , © 2010 NVIDIA Corporation).....	443

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Modificações geométricas sobre modelos de polígonos. (1.-3. Luz 2002, Parte II; 4.-16. Barata & Santos 2010, passim)	330
Tabela 2 - Diferentes possibilidades de aplicação oferecidas por sombreadores disponíveis no programa Blender (<i>blender.org</i> , 2009)	354
Tabela 3 - O mesmo material ao qual foram aplicados diferentes efeitos de texturização através de <i>bump mapping</i> e <i>displacement mapping</i> (<i>VRayDisplacementMod</i> , 2010)	378
Tabela 4 – Resultados obtidos através do método de <i>Real-Time High-Quality View Dependent Texture Mapping using Per Pixel Visibility</i> (Porquet 2005).....	391
Tabela 5 – Tipos de luzes aplicáveis numa cena tridimensional (Valinho et al. 2007)	396

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 – Esquema básico do funcionamento de um estúdio virtual (Rotthaler 1996)	74
Diagrama 2 - Ambiente de trabalho (<i>interface</i>) do <i>software</i> 3Designer e diagrama de funcionamento do <i>software</i> 3Designer sobre uma plataforma ORAD (imagem captada durante a formação <i>online</i> disponibilizada pela ORAD durante a realização desta dissertação, todos os direitos reservados a Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010 & 3Designer, Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010).	87
Diagrama 3- Composição de imagem através da técnica de <i>Chroma-key</i> (Luz 2006d).....	88
Diagrama 4 – comparação entre a evolução da capacidade de processamento dos CPUs vs GPUs (Giles 2008)	127
Diagrama 5 – Esquema de funcionamento do VIDEOPLACE (Oliveira, 2007)	281
Diagrama 6 - <i>Model Based Rendering</i> (Albuquerque 1999, p.38)	427
Diagrama 7 - <i>Image Based Rendering</i> (Albuquerque 1999, p.44)	427

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

à dir. – à direita

à esq. – à esquerda

CG – *Computer Graphics* - Computação Gráfica

CGI – *Computed Generated Imagery* – Imagens Geradas por Computador

chp. – *chapter* - capítulo

cit. – *cited in* – citado em

CPU – *Central Processing Unit* - Unidade de Processamento Central

CV – Cenografia Virtual

ed. - editora

e.g. – *exempli gratia* - por exemplo

ESCS – Escola Superior de Comunicação Social

FPS – *frames per second* - imagens por segundo

GI – *Global Illumination* – Iluminação Global

GPU - *Graphic Computer Unit* - Unidade Gráfica de Computação

HDTV - *High Definition Television* - Televisão de Alta Definição

HDRI – High Dynamic Range Imaging

HDRL – High Dynamic Range Lighting

HMD - *Head Mounted Display*

ibid. – ibidem

id.ibid. – idem ibidem

LOD - *Level of Detail* – nível de detalhe

n.d. – *no date* – sem data

NTSC - *National Television System(s) Committee*

op. cit. – *opus citatum* - obra citada

p. – *page* - página

PM – *parallax mapping* – mapeamento com paralaxe

pp. – *pages* - páginas

RA – Realidade Aumentada

RTP – Rádio e Televisão de Portugal

RV – Realidade Virtual

SDF – *Standard Definition Television* - Televisão de Definição Padrão

SIC - Sociedade Independente de Comunicação

ULHT – Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

VANTeC - Tecnologias de Vanguarda Sistemas de Informação, S.A.

VDM – *View-dependent Displacement Mapping*

vol. - volume

vs - *versus*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
ESTADO DA QUESTÃO.....	9
PARTE I. A CENOGRAFIA VIRTUAL NO MEIO AUDIOVISUAL	51
CAPÍTULO I INTEGRAÇÃO DA CENOGRAFIA VIRTUAL NO MEIO TELEVISIVO	53
CAPÍTULO II O FUNCIONAMENTO DA CENOGRAFIA VIRTUAL NO MEIO AUDIOVISUAL	73
CAPÍTULO III O CENÁRIO VIRTUAL	87
PARTE II. CONCEPÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS.....	91
CAPÍTULO IV MODELOS VIRTUAIS	93
PARTE III. CONCEPÇÃO DE UMA CENOGRAFIA VIRTUAL NO MEIO AUDIOVISUAL ..	117
CAPÍTULO V CONDICIONANTES AO FUNCIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO TELEVISIVA	121
CAPÍTULO VI MODELAÇÃO EM PROJECTOS DE CENOGRAFIA VIRTUAL	141
CAPÍTULO VII COMPATIBILIZAÇÃO DOS MODELOS 3D COM AS PLATAFORMAS DE <i>RENDERING</i> EM TEMPO-REAL	161
PARTE IV. CONCLUSÃO.....	179
CAPÍTULO VIII CONCLUSÕES.....	181
CAPÍTULO IX METODOLOGIA DE TRABALHO PARA O DESIGNER DE CENOGRAFIA VIRTUAL DE UMA ESTAÇÃO TELEVISIVA	185
CAPÍTULO X PERSPECTIVAS DE INVESTIGAÇÃO	195
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	197
BIBLIOGRAFIA.....	209
APÊNDICE A. AVATAR - UM EXPOENTE NO DESENVOLVIMENTO DOS EFEITOS ESPECIAIS	253
APÊNDICE B. EVOLUÇÃO DE OUTRAS TECNOLOGIAS QUE CONTRIBUÍRAM SIGNIFICATIVAMENTE PARA O DESENVOLVIMENTO DA CENOGRAFIA VIRTUAL	261
APÊNDICE C. CONTRIBUTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NO ESTRANGEIRO	295
APÊNDICE D. O DOMÍNIO DA TÉCNICA DO <i>BLUE/GREENSCREEN</i>	299
APÊNDICE E. VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA TECNOLOGIA	309
APÊNDICE F. MODELOS TRIDIMENSIONAIS	323

ÍNDICE GERAL

<i>Agradecimentos</i>	<i>iii</i>
<i>Resumo</i>	<i>vii</i>
<i>Abstract</i>	<i>ix</i>
<i>Índice de Ilustrações</i>	<i>xi</i>
<i>Índice de Tabelas</i>	<i>xxix</i>
<i>Índice de Diagramas</i>	<i>xxix</i>
<i>Lista de Abreviaturas e Acrónimos</i>	<i>xxxii</i>
<i>Sumário</i>	<i>xxxiii</i>
<i>Índice Geral</i>	<i>xxxv</i>
INTRODUÇÃO	1
I. <i>Apresentação do problema</i>	1
II. <i>Objecto de Estudo</i>	3
III. <i>Interesse e Importância do objecto de estudo</i>	3
IV. <i>Objectivos</i>	6
V. <i>Metodologia aplicada</i>	6
VI. <i>Estrutura da Dissertação</i>	8
ESTADO DA QUESTÃO	9
I. <i>O advento da cenografia virtual</i>	11
II. <i>Evolução das técnicas de Efeitos Especiais</i>	12
III. <i>A cenografia na televisão</i>	42
PARTE I. A CENOGRAFIA VIRTUAL NO MEIO AUDIOVISUAL	51
CAPÍTULO I INTEGRAÇÃO DA CENOGRAFIA VIRTUAL NO MEIO TELEVISIVO	53
1.1 <i>Implantação da Cenografia Virtual em Portugal</i>	65
1.2 <i>Investigação e Ensino da Cenografia Virtual em Portugal</i>	68
CAPÍTULO II O FUNCIONAMENTO DA CENOGRAFIA VIRTUAL NO MEIO AUDIOVISUAL	73
2.1 <i>Estúdio Virtual de TV</i>	74
2.2 <i>Iluminação do Estúdio</i>	76
2.3 <i>Tracking</i>	78
2.3.1. <i>Tracking – Pattern Recognition - marcadores</i>	79
2.3.2 <i>Tracking por infra-vermelhos</i>	80
2.3.3 <i>Tracking por sensores mecânicos</i>	82

	2.3.4 Novos desenvolvimentos nos sistemas de <i>Tracking</i>	82
CAPÍTULO III	O CENÁRIO VIRTUAL	87
	3.1 <i>Sincronização entre a realidade e o virtual</i>	88
PARTE II.	CONCEPÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS	91
CAPÍTULO IV	MODELOS VIRTUAIS	93
	4.1 <i>modelação 3D</i>	96
	4.2 <i>Do modelo 3D ao output final</i>	100
	4.3 <i>Geração de imagem - rendering</i>	113
PARTE III.	CONCEPÇÃO DE UMA CENOGRAFIA VIRTUAL NO MEIO AUDIOVISUAL ..	117
	<i>Metodologia</i>	119
CAPÍTULO V	CONDICIONANTES AO FUNCIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO TELEVISIVA	121
	5.1 <i>Limitações de Software e Hardware</i>	121
	5.1.1 Exemplos práticos.....	123
	5.1.2 Constrangimentos ditados pela evolução do <i>Hardware</i>	126
	5.2 <i>Limitações do Estúdio e de Realização</i>	134
	5.3 <i>Limitações de Tempo</i>	137
	5.4 <i>Limitações da Formação</i>	138
CAPÍTULO VI	MODELAÇÃO EM PROJECTOS DE CENOGRAFIA VIRTUAL	141
	6.1 <i>Modelação tridimensional</i>	143
	6.2 <i>Configuração do layout de cena</i>	148
CAPÍTULO VII	COMPATIBILIZAÇÃO DOS MODELOS 3D COM AS PLATAFORMAS DE <i>RENDERING</i>	
	EM TEMPO-REAL	161
	7.1 <i>Importação e finalização do modelo na plataforma de render em</i>	
	<i>tempo-real</i>	161
PARTE IV.	CONCLUSÃO	179
CAPÍTULO VIII	CONCLUSÕES	181
CAPÍTULO IX	METODOLOGIA DE TRABALHO PARA O DESIGNER DE CENOGRAFIA VIRTUAL DE	
	UMA ESTAÇÃO TELEVISIVA	185
	8.1 <i>Quadro de Variáveis – Conhecer a plataforma</i>	186
	8.2 <i>Briefing - Limites criativos</i>	186
	8.3 <i>Plano de trabalho - Contextualização</i>	187
	8.4 <i>Trabalho de Grupo – Departamentos satélites</i>	188
	8.5 <i>Projecto - Execução do Modelo</i>	190

	8.6 Importação - Finalização do modelo	192
	8.7 Evolução metodológica	193
CAPÍTULO X	PERSPECTIVAS DE INVESTIGAÇÃO	195
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	197
	<i>Referências Bibliográficas - Impressos</i>	<i>199</i>
	<i>Referências Bibliográficas – Electrónicos</i>	<i>199</i>
	<i>Referências Bibliográficas - Vídeos.....</i>	<i>208</i>
	BIBLIOGRAFIA.....	209
	<i>Bibliografia - Impressa.....</i>	<i>211</i>
	<i>Bibliografia – Electrónica.....</i>	<i>211</i>
	<i>Bibliografia - videos</i>	<i>227</i>
	<i>Bibliografia – Imagens.....</i>	<i>227</i>
APÊNDICE A.	AVATAR - UM EXPOENTE NO DESENVOLVIMENTO DOS EFEITOS ESPECIAIS .	253
APÊNDICE B.	EVOLUÇÃO DE OUTRAS TECNOLOGIAS QUE CONTRIBUÍRAM	
	SIGNIFICATIVAMENTE PARA O DESENVOLVIMENTO DA CENOGRAFIA VIRTUAL	261
	B.1 Evolução do Computador	261
	B.2 Evolução da Computação Gráfica	266
	B.3 Realidade Virtual e Aumentada – marcos importantes	275
	B.4 Evolução da Televisão	287
APÊNDICE C.	CONTRIBUTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NO	
	ESTRANGEIRO	295
APÊNDICE D.	O DOMÍNIO DA TÉCNICA DO <i>BLUE/GREENSCREEN</i>	299
	D.1 Definição do <i>Chroma-key alpha</i> e da imagem mate.....	299
	D.2 O <i>Motion Blur</i>	300
	D.3 Resolução e <i>Framing</i>	301
	D.4 A escolha do <i>blue</i> ou <i>greenscreen</i>	302
	D.5 Pré-preparação da cena.....	303
	D.6 Actores, Apresentadores e Jornalistas.....	303
	D.7 O papel das roupas e dos adereços	304
	D.8 Iluminação virtual e real compatível	305
	D.9 Pré-vizualização em estúdio	305
	D.10 Marcadores e barras para <i>tracking</i> por análise de imagem	306
	D.11 Spill	306
	D.12 Limpeza.....	307
	D.13 <i>Codecs</i> e amostras de cor	307
APÊNDICE E.	VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA TECNOLOGIA	309

E.1	Vantagens	310
E.2	Limitações.....	314
E.3.	Novos desenvolvimentos da técnica de CV – BBC R & D	318
APÊNDICE F.	MODELOS TRIDIMENSIONAIS	323
F.1	Modelação tridimensional.....	323
F.1.1	Vistas e Espaço Tridimensional	323
F.1.2.	Modelação com polígonos.....	324
F.1.2.1	Modificações, Transformações e Manipulação de polígonos	328
F.1.2.2	Aplicações	331
F.1.2.3	Vantagens e Desvantagens da Modelação com polígonos	332
F.1.3	Modelação por Subdivisão de Superfícies	333
F.1.4	Modelação com <i>splines</i> e NURBS.....	336
F.1.4.1.	<i>Splines</i> , <i>Patches</i> , NURBS e Superfícies de Bézier	337
F.1.4.2	Técnicas de Modelação com Curvas e <i>Patches</i>	340
F.1.4.3	Vantagens e Desvantagens da modelação com <i>Splines</i> e NURBS.....	345
F.1.5	Modelação de objectos compostos (Operações Booleanas)	347
F.2	Configuração do <i>layout</i> da cena	349
F.2.1.	Materiais	349
F.2.1.1	Materiais Básicos	350
F.2.1.2	Sombreadores - <i>Shaders</i>	352
F.2.1.3	<i>Shaders</i> de iluminação	354
F.2.1.4.	<i>Shaders</i> para efeitos especiais	355
F.2.2.	Materiais mapeados	356
F.2.2.1	Texturas processuais	358
F.2.2.2	Texturas Animadas ou Dinâmicas	360
F.2.2.3	Real Time Procedural <i>Textures</i>	363
F.2.2.4	Texturas com imagens	367
F.2.2.5	Mapeamento UV e UVW.....	368
F.2.2.6	Texturas <i>alpha</i>	370
F.2.2.7	<i>Bump Mapping</i>	372
F.2.2.8	<i>Normal mapping</i>	373
F.2.2.9	<i>Mip mapping</i>	375
F.2.2.10	<i>Displacement Mapping</i> ou “ <i>True Bump Mapping</i> ”	376
F.2.3	Outras técnicas de Mapeamento de materiais exploradas pela indústria dos videojogos e suas aplicações sobre modelos <i>lowpoly</i>	381
F. 2.3.1	Os videojogos - produção de imagens em tempo-real.....	381
F.2.3.2.	Diferentes métodos de aplicação de <i>Parallax Mapping</i> e <i>Relief Mapping</i>	384

F.2.3.3 Outros tipos de Mapeamento	394
F.2.4 Iluminação	394
F.2.4.1 Tipos de Luzes.....	395
F.2.4.2 Luzes Fotométricas e Luz com referência temporal e geodésica	397
F.2.4.3 Luz Ambiente e Exposição	398
F.2.4.4 Sombras	399
F.2.5 <i>Image-based Lighting</i>	406
F.2.5.1 <i>Lightmaps, Baked maps e Environment maps,</i>	407
F.2.5.2 <i>Lightmaps</i>	408
F.2.5.3 <i>Baked maps</i>	409
F.2.5.4 <i>Environment maps</i>	411
F.2.5.5 <i>Sphere mapping</i>	412
F.2.5.6 <i>Cube mapping</i>	412
F.2.5.7 Reflectividade	413
F.2.5.8 HDRL – <i>High Dynamic Range Imaged-based Lighting</i>	416
F.2.6 Câmaras	418
F.2.7 Animação	421
F.3 Rendering	423
F.3.1 <i>Rendering por software e rendering por hardware</i>	424
F.3.2 <i>Model-based rendering e Imaged-based rendering</i>	427
F.3.3 <i>Multipass rendering</i>	428
F.3.4 <i>Rendering por Layers</i>	429
F.3.5 <i>Rendering com cálculos de transporte de luz vs Rendering em tempo-</i> <i>real</i>	430
F.3.5.1 <i>Global Illumination</i>	431
F.3.5.2 Radiosidade	433
F.3.5.3 <i>Raytracing</i>	434
F.3.5.4 <i>Photon mapping</i>	437
F.3.6 Oclusão de Sombras ou Ambiente	439
F.3.7 <i>Scanline rendering e Z-buffer</i>	440
F.3.8 Tesselação	442
F.3.9 <i>Anti-aliasing</i>	443

INTRODUÇÃO

I. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O advento dos novos sistemas digitais interactivos proporcionados pelas tecnologias de Realidade Virtual¹ (RV) e Realidade Aumentada² (RA), trouxeram a possibilidade de criar Ambientes Virtuais e Aumentados. Segundo Zagalo (2007, p.1), estes ambientes permitiram o desenvolvimento de novos níveis de representação, capazes de proporcionar a criação de novos artefactos de ordem narrativa. Da mesma maneira, considerámos que estes objectos para além de construírem uma narrativa, são eles mesmos objectos aos quais destinamos funções específicas e dos quais retiramos diferentes níveis de fruição.

Assim sendo, a génese desta investigação assentou fundamentalmente nas possibilidades oferecidas pela criação dos Ambientes Virtuais e na sua confrontação com as palavras de Manzini referidas em epígrafe deste documento. Destacamos esta sua frase, “[n]ão existe um pensável abrangente que tenha apenas de ser encaixado na fronteira do possível, porque a própria consciência destes limites restringe o que pode ser pensado (Manzini 1993, p.17)”.

¹ “A Realidade Virtual consiste na utilização de computadores para a criação de imagens e ambientes 3D, que permitam a uma pessoa navegar e interagir de forma imersiva ou não. A navegação implica a habilidade de mover-se e explorar características dos cenários 3D, como por exemplo criar um objecto e movê-lo, examinando as suas particularidades. Enquanto que interagir é a possibilidade de interferir no que acontece, ou seja, a habilidade de seleccionar e mover objectos, tal como mover uma cadeira ou abrir uma porta; já a imersão consiste no aumento da sensação de presença do mundo virtual.” (Vince cit. Amado 2007, p.6)

² “A Realidade Aumentada é uma variação da Realidade Virtual. No entanto, na RV o utilizador é transferido para um ambiente totalmente construído por computador e não consegue visualizar o espaço real, enquanto que no caso da Realidade Aumentada esta funciona como um sistema onde objectos ou informação que são adicionados ao espaço real, com o objectivo de o aumentar e não de o substituir. É gerada uma visão mista de dados digitais e elementos naturais, que com a ajuda de suporte informático (*hardware*) justapõe informação digital aos objectos que visualizamos no quotidiano, fundindo todos os dados numa só imagem.” (Luz, FC 2005b)

Ao analisarmos as possibilidades das Realidades Virtuais e Aumentadas, podemos questionar se estas nos permitem ultrapassar as fronteiras da materialidade através do projecto de objectos virtuais. Colocámos então as seguintes questões: Afinal o que é possível criar? De que forma o objectivo final, real ou virtual, poderá modificar os limites criativos? De que modo o processo de projectar pode condicionar esses objectos?

Para Manzini (1993, p.17), apenas construímos aquilo que pode ser ao mesmo tempo pensado e executável. Atendendo aos novos desenvolvimentos tecnológicos, poderá estar ao nosso alcance materializar ideias para as quais não existam tecnologias e materiais adequados?

No início dos anos 80, esta outra maneira de conceber a “realidade”, ficou instituída pelo especialista em ciência de computação Jaron Lanier, que cunhou definitivamente a expressão “Virtual Reality”, designando os mundos de ficção como simuladores de realidades através da aplicação das novas tecnologias interactivas. Simultaneamente, funda a empresa VPL Research (Visual Programming Language Research), a primeira empresa a disponibilizar comercialmente produtos de Realidade Virtual. Desenvolveu juntamente com os seus colegas as primeiras aplicações de RV, que tornaram possíveis a simulação de cirurgias, a prototipagem do interior de veículos ou a execução de cenários virtuais para produções televisivas (*Brief Biography of Jaron Lanier*, n.d.).

Estas circunstâncias levaram ao nascimento de uma forte dicotomia entre o Design de Produto baseado numa visão mais material do objecto, e uma nova corrente baseada nas potencialidades do meio Virtual, ambos limitados, mas por factores diferentes. Definimos o nosso objecto de estudo tendo por base o campo de investigação gerado por esta nova dicotomia entre material-virtual, as suas limitações e as suas evoluções,

Como forma de restringir o nosso campo de investigação, optámos por nos centrar em torno das questões ligadas à Cenografia Virtual, mais concretamente à sua aplicação ao meio audiovisual, analisando-a como um

produto, que passa pelas diferentes fases até chegar à materialização final, não obstante esse resultado ser virtual.

Na realidade, a Cenografia Virtual, como tecnologia, é uma ferramenta bem desenvolvida para a criação de ambientes virtuais, contudo, enquanto disciplina é relativamente recente, repleta de potencialidades e fragilidades.

II. OBJECTO DE ESTUDO

Esta investigação pretende debruçar-se sobre os aspectos conceptuais e projectuais da concepção dos modelos virtuais dos cenários e da sua importação para as plataformas de *render* em tempo-real.

III. INTERESSE E IMPORTÂNCIA DO OBJECTO DE ESTUDO

O interesse e a pertinência desta investigação recaem principalmente na necessidade de desenvolvimento de novas técnicas que permitam a evolução da tecnologia, uma vez que esta ainda se encontra num estágio embrionário. O rápido avanço do *hardware* disponível e os surpreendentes aumentos de capacidade de processamento, poderão levar a que todas as tecnologias que dele dependam vejam as suas possibilidades aumentadas de forma análoga.

Recuando algumas décadas, lembramos o escritor e inventor britânico Arthur C. Clarke, autor de obras de divulgação e ficção científica. O mesmo desempenhou na sociedade Ocidental o papel de visionário, criador de novas realidades simuladoras de futuros possíveis com base na evolução da ciência e na própria imaginação, bem como na relação entre o homem e o computador de que é testemunha a sua visão pós-modernista do filme “2001: Odisseia no Espaço”. Clarke explora a relação homem-máquina a partir de um

ecrã onde a realidade palpável se mistura com a realidade virtual e onde as emoções das personagens reais e virtuais se confundem. Esta foi talvez uma das primeiras manifestações do que são os vários âmbitos das virtualidades.

Mais recentemente, o filme de ficção científica “Matrix”, realizado em 1999 por Larry e Andy Wachowsky, descreve um mundo onde a realidade captada e sentida pelos seres humanos é uma realidade simulada por um programa criado por inteligência artificial, a Matrix. Na vida real, corpos humanos aprisionados estão mergulhados em casulos e são cultivados como fonte de energia. O calor do corpo humano e a sua actividade eléctrica cerebral, estimulada pela vida que se desenvolve no mundo virtual, alimentam as necessidades de um mundo artificial dominado por máquinas sensíveis. Paradoxalmente, as pessoas já não têm qualquer contacto com o mundo real, e o mundo virtual simula a vida real, mimetizando-a de tal forma que o mundo virtual se torna para os humanos indistinguível do real. A realização deste filme permitiu-nos vislumbrar de forma muito directa as possibilidades da realidade virtual na ilusão dos sentidos, pois o filme sugere a possibilidade extrema dos seres humanos poderem ficar aprisionados num mundo virtual de forma irreversível.

Ficção e realidade ganharam uma nova dimensão com as possibilidades oferecidas pela construção de imagens cénicas no cinema e na televisão. Os novos meios proporcionados pelo manuseamento da imagem digital introduziram novos conceitos cénicos e narrativos, levando a cenografia a um expoente máximo na criação de espaços imaginários altamente habitáveis (Urssi 2006, pp. 95-97).

Para além das suas possibilidades criativas, este tipo de cenografia transformou o próprio acto projectual em produto final, tornando a tecnologia muito apelativa também em termos económicos. No caso específico da Cenografia Virtual adaptada à televisão, o processo da captação de imagem pelo *chroma-key*³ permitiu ao cenógrafo a utilização de imagens virtuais dinâmicas e estáticas,

³ A técnica de *Chroma-key* é uma técnica de processamento de imagem que permite juntar duas imagens, removendo da primeira imagem uma cor ou intervalo de cor (geralmente verde ou azul), por forma a revelar a outra imagem que está por baixo.

animações, gráficos e tipografia, de uma forma rotineira. De facto, a evolução da cenografia tradicional para a cenografia virtual, combinando tecnologias múltiplas e através da integração de apresentadores e actores em ambientes criados digitalmente, contribuiu radicalmente para a economia de tempo, espaço e dinheiro no meio audiovisual. Passado o investimento inicial tornava-se óbvio que a facilidade com que se trocava de cenário para cenário entre programas seria a resposta mais adequada para o desenvolvimento de uma televisão que emitiria num futuro relativamente próximo os seus programas em alta definição – HDTV. Segundo Luz:

[m]uitos produtores de televisão apenas vislumbram nestes sistemas a vantagem económica dos custos e espaço que um cenário físico em marcenaria acarreta. Este é certamente o primeiro erro a ser cometido, pois veja-se como é pobre esteticamente um cenário virtual que procura espelhar materiais realistas. Faltam as texturas orgânicas, brilho natural e sombras projectadas pelos intervenientes no espaço virtual. Este não é o caminho, não devemos utilizar os computadores como máquinas de escrever, mas procurar nestas novas ferramentas a genialidade (Luz 2005a, p.1 of 12).

O mesmo autor afirma ainda, que uma visão limitada das capacidades desta tecnologia leva facilmente ao aproveitamento de apenas algumas das suas vantagens, uma vez que estas já são bastante satisfatórias, negligenciando-se as suas verdadeiras possibilidades. A indústria cinematográfica e a concepção de videojogos está francamente mais avançada, atingindo níveis de qualidade que até há pouco tempo julgaríamos impensáveis, consequência do desenvolvimento a nível do *hardware* e *software* (ibid.).

A riqueza do universo televisivo, com a sua diversidade de conteúdos programáticos, *talk-shows*, telejornais, entre outros, tem um universo de telespectadores que reagem a estes programas de formas diferentes, e que muito poderão contribuir para a definição de parâmetros que ajudem a delinear características nas cenografias virtuais, com as quais estes possam sentir mais ou menos empatia.

Constatámos também, logo num primeiro momento da investigação, que face ao aumento exponencial de pedidos nas diferentes frentes do mercado de programas para o audiovisual, no meio televisivo não existem

profissionais suficientes ou pelo menos devidamente preparados para trabalharem nesta área, deste modo, a presente investigação procura igualmente ajudar a colmatar essa lacuna em termos de investigação e de ensino.

IV. OBJECTIVOS

Esta investigação tem por objectivo avaliar as potencialidades criativas geradas pela aplicação da Realidade Virtual e Aumentada no meio audiovisual, em particular na produção de Cenários Virtuais e na aplicação dos mesmos através das tecnologias disponíveis a nível nacional.

Para isso é necessário:

1. Encontrar estratégias para melhorar a qualidade da modelação de cenários dentro das diferentes limitações impostas pela tecnologia.
2. Controlar as dificuldades encontradas na passagem dos modelos virtuais dos *softwares* de modelação para os *softwares* de *render* em tempo-real.
3. Determinar as possibilidades criativas pelo domínio do processo tecnológico em geral e pelo domínio das ferramentas utilizadas na concepção do projecto em particular.

V. METODOLOGIA APLICADA

Tendo em conta que a Cenografia Virtual (CV) está directamente ligada à evolução de diferentes tecnologias (como o *hardware*, *software* ou o rastreio de câmaras), e que estas evoluem a um ritmo bastante elevado, foi fundamental ao longo destes dois anos de investigação fazer constantes actualizações enquanto à recolha de dados necessária para a elaboração deste estudo.

Ressalvando-se esse facto, a nossa metodologia assentou no levantamento de informação relacionada com a temática em fundos documentais e em acervos *online*; na confrontação dos dados recolhidos e analisados com a experiência de peritos e de técnicos contactados; na avaliação *in loco* de modelos de projectos de CV realizados ou em curso nas entidades consultadas; e na forma como se realiza a importação desses modelos para as plataformas em tempo-real.

Na primeira fase organizaram-se as fontes segundo a sua importância (primárias e secundárias) e segundo o tipo (impressos, electrónicos e audiovisuais). Procedeu-se então à sua separação em função do tipo de informações directas e indirectas, o que nos permitiu rapidamente obter uma visão historiográfica da temática abordada. Posteriormente, foi realizado um enquadramento do problema da nossa investigação e feita uma recolha sistemática de conhecimentos e práticas importantes para a fase seguinte da nossa investigação.

Na segunda fase pudemos através da visita *in loco* a duas instalações televisivas e a uma escola (ESCS), analisar todo o processo que envolve a realização de uma cenografia virtual, inclusive os diferentes *modi operandi* dos técnicos e especialistas envolvidos, até ao momento em que o produto final é emitido. Em seguida, procedemos a uma identificação dos principais problemas relacionados com a implementação da tecnologia no meio audiovisual nomeadamente:

1. As condicionantes e adaptações necessárias à execução de projectos virtuais;
2. As limitações na utilização de técnicas de modelação;
3. A compatibilização dos modelos virtuais com as plataformas existentes.

Como resultado foi possível identificar quais os contributos que melhor se adequam à exploração e à implementação das potencialidades criativas proporcionadas por esta tecnologia no meio televisivo. De igual forma foi possível

reunir um conjunto de novas linhas metodológicas na abordagem projectual para o *designer* de Cenografia Virtual integrado numa estação televisiva.

VI. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é composta por quatro partes excluindo a Introdução e o Estado da Questão. Por sua vez, estas encontram-se divididas em 10 capítulos sequenciais não se interrompendo a sua numeração no sentido de se evitarem possíveis equívocos. Estado da Questão, Parte I e Parte II são complementadas com informações incluídas nos Apêndices A a F.

Na parte I é realizada uma perspectiva da integração da cenografia virtual no meio audiovisual, dando especial relevo ao caso português. Na Parte II, é realizada uma apresentação sumária das possibilidades dos modelos virtuais e etapas fundamentais que percorrem até à sua utilização final. A Parte III refere-se concretamente à investigação no terreno, identificação do problema e soluções encontradas. Por último, na Parte IV apresentam-se as conclusões retiradas neste estudo e uma metodologia projectual para o *designer* de cenografia virtual integrado no meio audiovisual.

Optamos por apresentar o formato impresso dividido em dois volumes, o 1º volume com a dissertação, referências bibliográficas e bibliografia, e o 2º volume com a totalidade dos apêndices. O documento digital engloba todos os dados impressos no 1º e 2º volumes. O tipo de referência escolhido foi o de Harvard.

ESTADO DA QUESTÃO

No Estado da Questão pretendemos fazer um resumo das principais técnicas que deram origem ao advento da Cenografia virtual, cuja génese reside na sua raiz tecnológica e no desenvolvimento da cenografia televisiva. Complementares ao Estado da Questão são o Apêndice A, com uma abordagem ao domínio das técnicas de Efeitos Especiais relativas ao filme Avatar, e o Apêndice B, com abordagens de temas que considerámos relevantes para o desenvolvimento desta tecnologia.

I. O ADVENTO DA CENOGRAFIA VIRTUAL

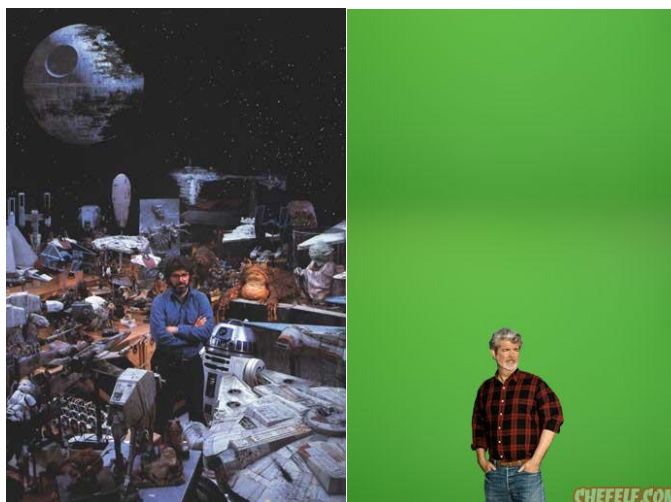


Fig. 1a/1b – a) George Lucas, 1983, com algumas das miniaturas utilizadas na realização da primeira saga de *Star Wars*; b) em 2005 o realizador torna-se um entusiasta da técnica do *greenscreen* (*Lucas 1983 – 2005, A photo essay, n.d.*).

A Cenografia Virtual é uma tecnologia bastante recente, tendo-se iniciado a sua utilização de uma forma habitual no meio televisivo apenas no início dos anos 90. Esta tecnologia teve um grande impacto no processo de realização e de criação dos cenários, afectando as várias etapas do processo de produção do cinema e dos programas em geral (Cubillo 2008, pp.31-42).

Efectivamente, o nascimento da cenografia virtual teve o seu impulso no cruzamento de três tecnologias: a evolução das técnicas de efeitos especiais para o cinema e mais tarde para a televisão; a possibilidade de pré-figuração do espaço construído através de *softwares* de modelação 3D com a evolução de *hardware*; e, finalmente, o desenvolvimento do conceito de ambiente virtual e a possibilidade de se gerarem ambientes e personagens em tempo-real. Implicitamente temos o desenvolvimento da televisão e da cenografia televisiva como veículo para o desenvolvimento da técnica no meio televisivo.

II. EVOLUÇÃO DAS TÉCNICAS DE EFEITOS ESPECIAIS

A presença de efeitos especiais no cinema remonta ao início do século passado. De facto, já em 1860 era do conhecimento público que se utilizavam efeitos na composição de fotografias. Em 1895, Richard Clarck utilizou um boneco para conseguir simular a decapitação de Mary, Rainha dos Escoceses, e abriu o caminho para uma indústria que se desenvolveria tão rapidamente quanto as possibilidades que a mesma oferecia (*The execution of Mary Stuart*, n.d.). Assim, a exploração dos efeitos especiais nascia da necessidade de se criarem situações artificialmente, cenas que não pudessem ser recriadas em estúdio (ou mesmo em campo) por serem demasiado perigosas ou por representarem lugares inacessíveis. Outra das suas vertentes era a criação de mundos imaginários (Albuquerque 1999, p.47). Estes primeiros passos viriam a dar origem a uma indústria de sucesso baseada nas possibilidades das imagens geradas por computador (*CGI – Computer Generated Imagery*), que aliás desde o início dos anos 90 é a principal técnica de Efeitos Especiais utilizada no cinema.

Em 1896, o mágico francês, Georges Méliès, descobre acidentalmente quando filmava uma Rua em Paris, a técnica denominada por “*stop trick*”⁴, consequência da sua câmara ter encravado durante o processo de filmagem. Esta descoberta leva-o a desenvolver, enquanto director do *Theatre Robert-Houdin*, uma série de 500 pequenos filmes explorando e desenvolvendo técnicas para efeitos especiais. Entre 1896 e 1914, experimentou diversas abordagens tais como a exposição múltipla⁵, o *time-lapse*⁶, o *dissolve*⁷, a pintura manual da película, a utilização de fundos e perspectivas de câmara, e a construção de miniaturas (*IMDb: Internet Movie Data base*, © 1990-2010

⁴ A técnica “*stop trick*” implica que uma vez captada a cena a câmara seja desligada e se alterem os elementos da cena, a câmara é então novamente ligada levando o espectador a acreditar que os elementos desapareceram ou se transformaram.

⁵ A múltipla exposição ou dupla exposição é uma técnica fotográfica que consiste em expor um negativo ou diapositivo múltiplas vezes.

⁶ No *time-lapse* cada fotograma é capturado a uma velocidade muito mais lenta do que aquela em que será projectado. As imagens ao serem projectadas a uma velocidade normal transmitem a ideia de que o tempo passa mais depressa.

⁷ O dissolve é uma técnica em que se faz a transição gradual de uma imagem para outra. Este efeito é controlado através da exposição múltipla fotograma a fotograma.

IMDb.com, Inc.). No seu filme “*The man with the rubber head*”, realizado em 1902, Méliès incha e desincha a própria cabeça em cima de uma mesa de laboratório (ver Fig. 2). Para obter este efeito, o realizador voltava a expor a película afastando ou aproximando progressivamente a câmara de si próprio (Vita 2008, p.93).



Fig. 2 - *L'homme à la tête de caoutchouc*, curta metragem de 3 minutos realizada em 1902 por Georges Méliès (Vita 2008, p.92).

Em resultado das primeiras experiências realizadas pelos irmãos Lumière, surgiu a técnica de *matte painting*⁸ aplicada ao cinema. Tanto na fotografia como nos efeitos especiais, esta técnica combina dois ou mais elementos numa imagem final, geralmente entre uma imagem de fundo, representada pelo *matte*, e uma imagem em primeiro plano. No entanto, muitas outras experiências foram desenvolvidas.

Em 1907, Norman Dawn desenvolveu a técnica do *Matte Shot*⁹ revolucionando a utilização dos *matte*. Esta técnica apesar de complicada permitia

⁸ O *matte painting* foi a primeira técnica a ser utilizada para simular distâncias, perigos ou locais imaginários. Filmava-se a cena no local desejado, em estúdio ou no exterior, cobrindo com cartão parte do fotograma da câmara para não haver exposição do filme/película nessa área. A parte não exposta era depois usada para filmar uma acção em primeiro plano, enquanto que a que havia sido exposta era então coberta com uma película opaca chamada *matte* para proteger a imagem já gravada. Esta técnica possibilitava o uso de maquetes, miniaturas e pinturas para compor as cenas. A luz solar e as sombras captadas nas diferentes cenas eram retocadas na montagem final. Como maior desvantagem tinha-se a impossibilidade dos actores ou quaisquer outros elementos de *foreground* se movimentarem diante do *background* (Albuquerque, ALP 1999, p.47).

⁹ O processo *matte-shot* inicia-se com a colocação de uma placa de vidro numa caixa que por sua vez é colocada à frente da câmara. Utilizando tinta preta, tudo o que é para ser substituído pelo *matte*

que as filmagens reais se fizessem em estúdio contra um fundo simples (ver Fig. 3). Permitia também que as diferenças aquando da mistura das duas imagens se tornassem menos detectáveis, ao utilizar uma câmara especialmente construída para minimizar as vibrações e criando os *mattes* directamente a partir das imagens captadas no estúdio.

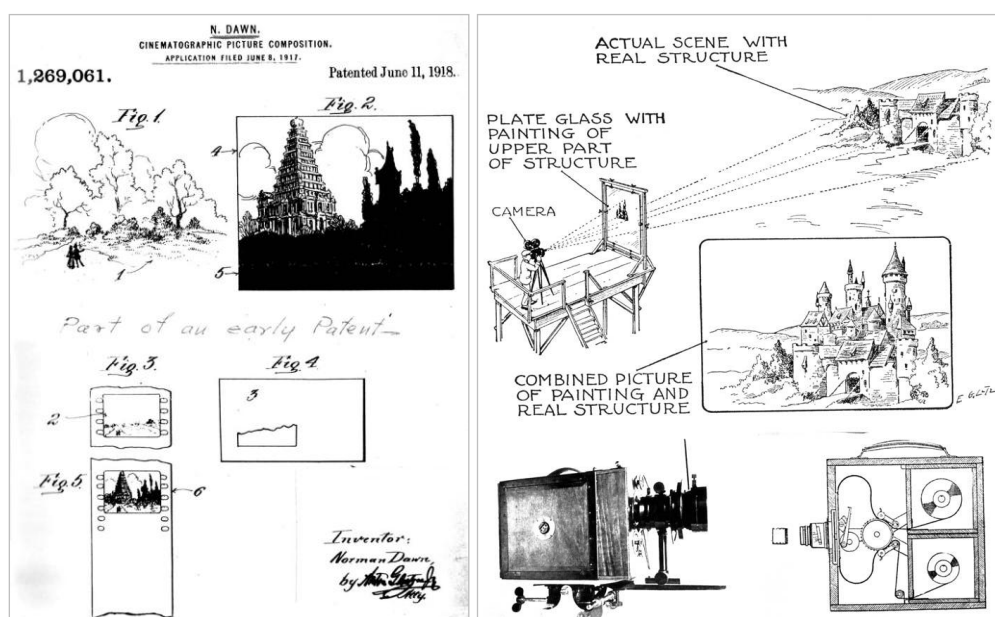


Fig. 3a/3b - a) técnica de *Matte Painting* patenteada por Norman Dawn em 1918; b) tecnologia de *mattes* aplicadas em vidro desenvolvidas pelo mesmo autor (Vita 2008, pp.102-103).

Nove anos mais tarde, Frank Williams desenvolveu a técnica dos *travelling mattes*. Esta técnica permitia separar as personagens em movimento como elementos autónomos de forma a poderem ser posteriormente combinados com um fundo diferente. Nesta fase o sistema era aplicado sobretudo em efeitos especiais controlados fotograma a fotograma (Barret 2004).

painting é revestido na placa ficando apenas os actores em frente a um cenário simples. A acção é realizada através do vidro assim protegido, criando um negativo parcialmente exposto. Em pós-produção, os artistas de *matte* utilizam faixas teste dos actores no cenário real (*test strips*), para criar o *matte painting* na placa de vidro na zona que antes tinha sido protegida com tinta preta. A pintura é feita tendo em consideração a perspectiva e composição que constam nas faixas de teste. Uma vez conseguida uma boa combinação do *matte* com as imagens dos actores, é montada a pintura realizada no vidro em frente da câmara. Finalmente é feita a filmagem com o negativo parcialmente exposto e com a placa de vidro com o *matte* no lugar. Como a parte correspondente à filmagem real era enegrecida na placa de vidro onde eram criados os *matte paintings* não se colocava o problema da dupla exposição da película. O resultado era bastante realista (*How Digital Matte Painters Work - Film Matte Painting*, ©1998-2010 HowStuffWorks, Inc.).

Em 1920, os departamentos de Efeitos Especiais integravam a maior parte dos principais estúdios de Cinema. Progressivamente a utilização de miniaturas tornou-se comum, dando aos realizadores a possibilidade de iludir o espectador com imagens grandiosas de realidades fictícias. Ao justapor estes pequenos modelos contra ambientes aparentemente grandes, e filmando a partir de uma perspectiva muito próxima, filmes como *King Kong* impressionavam as audiências. Estes filmes utilizavam para além dos *mattes*, o *stop-motion*, técnica em que imagens paradas são projectadas em sequência para dar a ilusão de se tratar de um filme convencional. A diferença estava em que, entre cada imagem captada, os modelos eram movidos sequencialmente de forma a simular acções (ver Fig. 4).



Fig. 4 - *The Lost World* realizado por Willis O'Brien, um dos primeiros filmes a demonstrar as possibilidades do *stop-motion* com a animação de modelos de criaturas pré-históricas (*Timeline* – ILMfan, n.d.).

Nas décadas seguintes a indústria dos efeitos especiais (FX) aperfeiçoou a utilização de miniaturas, dos *mattes* e do *stop-motion*, mas continuaram a surgir novas ideias e métodos como as impressoras ópticas e o processo de *Schüfftan*.

A impressora óptica¹⁰ surge como um sistema desenvolvido para obter de forma mais controlada e menos dispendiosa efeitos especiais que já se aplicavam. As primeiras surgiram nos anos 20 tendo sido mais tarde desenvolvidas

¹⁰ A impressora óptica é um dispositivo com um ou mais projectores que é mecanicamente incorporado na câmara de filmar. Ela permite aos realizadores refotografar a película, integralmente ou parcialmente, de forma a poderem aplicar os efeitos especiais nas zonas pretendidas. Os efeitos mais comuns eram o *fade in* ou *fade out*, *dissolve*, câmara lenta, câmara rápida e trabalhos com *mattes*. Permitia a utilização de diversos elementos numa só cena.

por Linwood G. Dunn, durante os anos 30. Em 1931, a impressora óptica é comercializada pela primeira vez. Mais tarde, nos anos 80, foram incorporados microcomputadores nestas impressoras, melhorando o seu desempenho, mas rapidamente a composição digital ultrapassou largamente as possibilidades oferecidas por estes dispositivos tornando-os obsoletos.

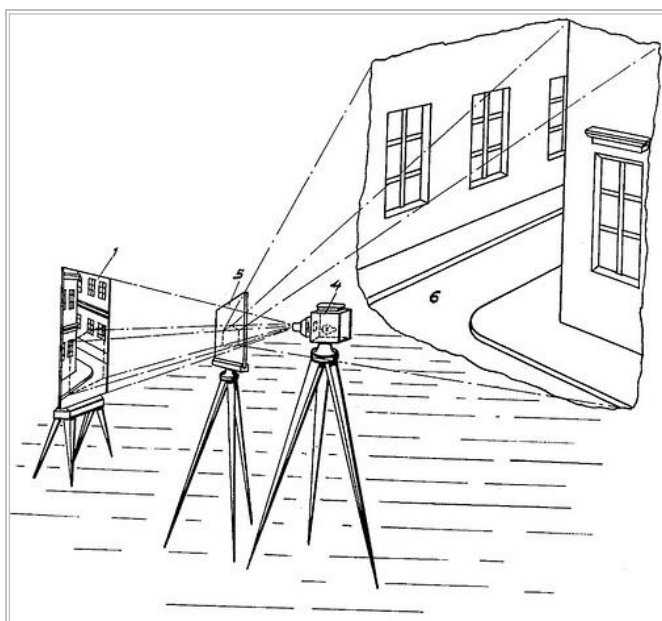


Fig. 5 - Processo original de Schüfftan utilizado para introduzir no palco onde se desenvolve a acção, um cenário criado a partir de um quadro. *US Patent No. 1,606,483, November 9, 1926 (Schüfftan process, 2008).*

O Processo de Schüfftan foi extensivamente usado durante a primeira metade do século XX, antes de ser substituído pelos efeitos de *travelling mattes* e *bluescreen*. Neste processo eram utilizados espelhos para transformar durante as filmagens a escala dos cenários e das miniaturas, integrando-os como fundo nas proporções desejadas relativamente ao tamanho dos actores (ver Fig.5). Este efeito foi utilizado com bastante sucesso no filme “*Metropolis*” em 1927 (ver Fig. 6). Incrivelmente, este método voltou a ser utilizado na realização do filme de Peter Jackson “*O Senhor dos anéis: o regresso do rei*” em 2003.



Fig. 6a/6b - 1927 – O filme *Metropolis* (1927) utilizou efeitos como miniaturas, *matte shots*, processo de *Schüfftan*, efeitos mecânicos e animação para impressionar as audiências (*Timeline – ILMfan*, © ILMfan.com 1996-2010.).

De facto, o processo que deu origem às tecnologias utilizadas nos modernos Estúdios Virtuais chamado de *bluescreen* ou *greenscreen*, *chroma-key*, *color keying* ou *colour-separation overlay (CSO)* teve a sua origem no desenvolvimento de diversos métodos análogos, explorados ao longo dos anos para a combinação de imagens. Criado inicialmente para permitir filmar pessoas em lugares inacessíveis ou de difícil realização, acredita-se mesmo que acabou por ser a necessidade de reduzir custos que levou ao desenvolvimento das técnicas de chroma (Albuquerque 1999, p.47).

Devido à necessidade de substituir as morosas técnicas de *matte* surgiram as técnicas de Carrocel, *Back Projection* e *Front Projection*. Na técnica de Carrocel era aplicada a cena de fundo a um cilindro que girava enquanto o actor representava em *foreground*¹¹. Como extensão dessa técnica, surgiu o *Back Projection* onde a cena de *background*¹² filmada previamente no exterior era projectada invertida, numa tela atrás do actor enquanto este representava. Na técnica de *Front Projection* o actor actuava diante de uma tela reflexiva na qual a imagem de *background* era projectada a partir de um espelho à frente da cena (Albuquerque 1999, pp.47-48). Estas técnicas foram extensivamente usadas em cenas de condução, entre outras que também exigiam fundos distantes em movimento.

¹¹ primeiro plano

¹² plano de fundo



Fig. 7a/7b – O filme *Foreign Correspondent* (Alfred Hitchcock, 1940) utilizou a técnica de *Back Projection* para simular o movimento do carro e a queda do avião no mar (1000 *Frames of Foreign Correspondent* (1940), n.d.).

Estas duas últimas técnicas tinham praticamente os mesmos efeitos e vantagens, mas o método do *Back Projection* só podia ser utilizado em grandes produções por envolver a utilização de equipamentos dispendiosos (ver Fig. 7). O *Front Projection* foi desenvolvido como uma forma alternativa para produções mais modestas.

Todas elas permitiam visualizar o resultado da composição no momento da filmagem; o actor podia ver o cenário e actuar em função dele. Era também possível efectuar operações de câmara de *pan* e *tilt*¹³. Por outro lado, tornava-se indispensável um sincronismo entre o projector e a câmara e uma uniformidade na iluminação do *foreground* e do *background*.

Contudo, a necessidade de ter um *background* previamente filmado aumentava consideravelmente as despesas do estúdio e causava perda na qualidade da imagem de fundo quando refotografada. Para além disso, era necessário descobrir uma forma de ter liberdade nos movimentos básicos em frente ao cenário, tanto para o actor como para a câmara. Isto levou a que se desenvolvesse o método de aplicação de *mattes* que se pudessem mover fotograma a fotograma, os já referidos *travelling mattes*, e que no início eram geralmente feitos à mão ou mecanicamente. Com o advento do filme colorido, e a expansão da indústria cinematográfica, esta técnica foi explorada mais intensivamente devido às possibilidades que oferecia (Albuquerque 1999, p.49).

¹³ *Pan* e *tilt*, movimentos realizados pela câmara no sentido horizontal e vertical respectivamente.

A natureza exigente das novas aplicações para os *travelling mattes* levou a que os mesmos começassem a ser produzidos fotograficamente, em conjunto com as cenas de acção realizadas em primeiro plano. As primeiras incursões para expansão da técnica foram realizadas ainda em filmes a preto e branco, mas com a introdução do filme colorido estas foram desenvolvidas de forma muito mais eficaz. Surgiram então duas abordagens principais na realização dos *travelling mattes*, “*single-film*” e “*multi-film*”, cada uma com diversas variações (Erland 1982).

O primeiro processo de criação de *mattes* com um único filme (preto e branco) baseava-se na execução de contrastes pela utilização de um fundo negro. A imagem *matte* final resultava da sucessiva geração de imagens por alto contraste. No entanto, devido à distorção inevitável causada pela criação de diversas imagens, os resultados deste processo eram geralmente pobres. A segunda abordagem com filme único deveu-se à utilização do novo filme colorido *Monopack*¹⁴ que dedicava um terço do espectro de cor visível ao *matte*. Várias cores foram experimentadas como *background* para conseguir um bom negativo colorido, mas o azul¹⁵ revelou ser aquele que obtinha os melhores resultados. Em virtude das vantagens da utilização do azul, o processo dos *traveling mattes* veio a tomar o nome de técnica de *bluescreen* (ibid.).

A filmagem do *background* era realizada antes do actor ou modelo serem filmados contra o fundo azul. Para se conseguir uma boa imagem final era necessário conseguir separar o modelo ou actor do fundo, e colocá-lo numa “abertura” especial recortada na imagem de *background*. Através de uma impressora óptica com dois projectores e um divisor de raios combinavam-se as duas imagens fotograma a fotograma. Esta parte do processo tinha de ser controlada com cuidado por aparecerem frequentemente linhas pretas na união das duas imagens (*Chroma-key*, © 2010 AbsoluteAstronomy.com).

¹⁴ Em 1941 surgiu o filme *Monopack Technicolor*, este tipo de película tinha três camadas. Uma vez realizada a separação dos negativos, estes eram transformados pelo processo de *Technicolor*.

¹⁵ “You might say, ‘My God, how can that be true?’ Butler said. ‘The sky is blue, everything is blue’. Well, that isn’t true, there’s very little blue on people. And blue eyes are not big enough to bother anybody.” Larry Butler, especialista em efeitos especiais referindo-se à utilização do azul para a criação dos *travel mattes*. (Vaz & Barron cit. Vita 2008, p.109)

Na sequência da evolução e aplicação destas técnicas de realização, em 1941, *The Thief of Bagdad* ganha um óscar pelos efeitos visuais sem precedentes apresentados na sua produção. Larry Butler, responsável pelos efeitos visuais do filme, é considerado por todos o pai da técnica de *bluescreen*. Foi também o primeiro a utilizar o método em *Technicolor*, que se encontrava ainda na sua infância. Estas técnicas foram desenvolvidas ao longo dos anos 30 pela RKO Radio Pictures e também por outros estúdios (ver Fig. 8).



Fig. 8a/8b/8c – Filme *The Thief of Bagdad* (Michael Powell, Ludwig Berger e Tim Whelan, 1940), onde se utilizaram efeitos especiais conseguidos através da técnica de *bluescreen* e da aplicação de *matte paintings* (Vita 2008, p.110 & Rich 2008).

Em 1950, Arthur Widmer, ex-investigador da Kodak, empregado pela Warner Bros., desenvolve as suas pesquisas à volta de um processo de *travelling mattes* com base nos ultra-violetas. Um dos primeiros filmes a utilizar esta técnica foi a adaptação de 1958 do livro de Ernest Hemingway, “*The Old Man and the Sea*”. Este filme utilizava a segunda abordagem às técnicas de criação de *Travelling Mattes*, que utilizavam mais que uma película na sua concepção (*Chroma-key*, © 2010 AbsoluteAstronomy.com).

As diferentes técnicas com filmes múltiplos utilizavam todas a recém-inventada câmara de filmar *Technicolor* com três filmes incorporados. Para a captação dos *travelling mattes* por este processo só se utilizavam dois filmes, o negativo colorido e um filme sensível a uma parte do espectro de luz. Um prisma (divisor de raios) era instalado directamente na câmara de modo a que a imagem passasse o espectro visível para o negativo colorido enquanto uma banda do espectro era desviada para o outro filme produzindo o *matte*. As bandas de cor escolhidas para fazer os *mattes* eram o ultra-violeta, também conhecido como

“*diazo blue*”, o infra-vermelho e o amarelo do vapor de sódio. Na altura, o processo de vapor de sódio de Petro Vlahos foi reconhecido como o mais fiável pelo facto da imagem *matte* resultar do mesmo tamanho que a imagem obtida na filmagem da acção em primeiro plano, enquanto que no caso dos *mattes* ultra-violetas e infra-vermelhos os *mattes* ficavam distorcidos por se encontrarem nas pontas opostas do espectro de cor (Erland 1982).

A luz de vapor de sódio¹⁶ foi utilizada por ser uma fonte de luz de espectro reduzido, que era perfeitamente captada pelas sensíveis camadas do filme colorido. O sistema tinha a vantagem de permitir que fossem utilizadas todas as cores no guarda-roupa, na maquilhagem e nos adereços. A câmara equipada com o prisma divisor de raios era utilizada para expor as duas películas com diferentes elementos. O primeiro elemento constituía o negativo a cores não muito sensível à luz do sódio; o segundo elemento era feito com uma película a preto e branco de grão fino, sensível a todas as cores do espectro e também à cor das luzes de vapor de sódio. A segunda película servia à criação do *matte*, que seria utilizado em pós-produção para juntar a filmagem normal colorida com o background final. A *Disney* foi a única empresa a utilizar este método, pois era detentora do único prisma que se conseguiu produzir para a execução desta técnica. A câmara era uma *Technicolor* de 3 filmes, modificada para usar apenas 2 filmes. As *Technicolor* eram usadas para realizar filmes a cores antes de 1952 e usavam 3 rolos de filmes a preto e branco com os 3 filtros de cor (azul, verde e vermelho), a união dos três filmes produzia a película colorida (*Sodium vapor process*, © 2010 AbsoluteAstronomy.com).

Em 1952, Eastman Kodak introduziu o negativo a cores no mercado. Na altura o processo de vapor de sódio obtinha resultados mais limpos que a técnica de *bluescreen*, que sofria com o problema das sombras azuladas à volta das margens do *matte*. À medida que a técnica de *bluescreen* era continuamente melhorada, o processo de vapor de sódio era abandonado devido às suas desvantagens. Tela e lâmpadas utilizadas necessitavam de estúdios de

¹⁶ As lâmpadas a vapor de sódio foram desenvolvidas por volta de 1930, e tinham como pontos importantes para o processo de vapor de sódio o facto de serem uma luz artificial de alto rendimento e de terem um espectro praticamente monocromático na região do amarelo.

grandes dimensões e como tal representavam custos elevados para as produtoras de filmes (*Sodium vapor process*, © 2010 AbsoluteAstronomy.com).



Fig. 9 - *Mary Poppins* (1964), na imagem Julie Andrews e Dick van Dyke interagem com personagens animadas (*Timeline* – *ILMfan*, © ILMfan.com 1996-2010).

Um grande marco desta técnica foi o galardoado filme “*Mary Poppins*” (1964). Foi na realidade o primeiro filme a utilizar o processo de vapor de sódio explorando todas as suas potencialidades. Este processo, ocasionalmente também chamado de *yellowscreen*, deveu o seu desenvolvimento às investigações promovidas exclusivamente pela *The Walt Disney Company*. Nesta fantasia musical, os FX são utilizados para combinar a acção ao vivo com as personagens animadas e os fundos (ver Fig. 9). A técnica foi também chamada de *sodium screen compositing*. Para a realização das filmagens, os actores tinham de representar à frente de um *background* branco, fortemente iluminado por poderosas lâmpadas a vapor de sódio. O mesmo método foi também utilizado nos filmes *Mysterious Island* de Júlio Verne (1961) e *The Birds* (1963) de Alfred Hitchcock. A técnica veio a ser reaproveitada mais tarde em alguns filmes dos anos 70.

No entanto, apesar dos novos desenvolvimentos, o interesse do público nos FX havia decrescido a partir do final da década de 1950, altura em que se deu preferência à realização de filmes no local em que as histórias se passavam. Só a partir de 1968, com a realização do filme “2001: Odisseia no

espaço” por Stanley Kubrick, a utilização dos FX e as suas possibilidades criativas, nomeadamente em filmes de ficção, voltam a chamar verdadeiramente a atenção do público.

Porquanto outros filmes de ficção científica haviam procurado uma aparência aerodinâmica futurística, a produção de “2001” destacava-se dos demais por conseguir que todas as imagens parecessem tecnicamente credíveis. Para realizar este complexo argumento, a equipa de FX utilizou diversos efeitos com o intuito de criar a ilusão de imagens 3D. Na realidade, apenas se desenvolveram técnicas já conhecidas como a de *Front-Projection*¹⁷. Através da utilização de transparências e de uma tela reflexiva concebida para o efeito, as imagens resultavam muito mais nítidas e saturadas que as suas predecessoras. As cenas realizadas na África pré-histórica foram filmadas no estúdio de Borehamwood e a tela aplicada por detrás dos actores media cerca de 12 por 27 metros. O objectivo era provocar a ilusão de que as cenas se realizavam ao ar livre. O método também foi utilizado na realização das cenas no espaço exterior. Outros métodos foram utilizados mas sempre sem recurso aos benefícios da tecnologia computadorizada, algo que torna ainda mais significativa a realização deste filme (George 1991).

Então, nos anos 70, a maior e mais recente inovação introduzida para a realização de FX emergiu com o desenvolvimento das imagens geradas por computador. A tecnologia é hoje conhecida pelo nome de CGI – *Computer Generated Imagery*. Esta técnica afectou quase todos os tipos de FX aplicados no cinema, na televisão e no meio audiovisual em geral. A nova composição digital utilizava métodos mais controláveis do que aqueles que eram empregados na composição óptica e libertava o processo do problema da degradação da qualidade original do filme, através do seu manuseamento para aplicação de FX.

¹⁷ Esta técnica utiliza fotografias (aplicadas em suportes transparentes) e projecta-as a partir da frente do cenário numa superfície reflectora colocada em *background*. Como a imagem projectada parte de um ponto à frente do objecto de interesse, são provocadas sombras indesejadas. Este processo controla-se através de uma cuidadosa escolha da direcção das luzes e da forma como se coloca a câmara. Uma das suas desvantagens está no facto de serem necessários espaços de grandes dimensões para se conseguir uma boa colocação do sistema de projecção, dos actores e da câmara.

A CGI começou rapidamente a ser utilizada nos FX pelas vantagens que oferecia em relação aos métodos tradicionais. Já não era obrigatória a criação de complexas miniaturas para cenários impossíveis de realizar em tamanho real, assim como deixou de ser necessário contratar centenas de figurantes para as cenas de multidões. Muitas das imagens que são criadas através da CGI não seriam mesmo possíveis de criar por qualquer outro processo. Através de *software* de computador próprio, especialistas criaram modelos detalhados, *matte "paintings"* e mais tarde personagens completamente digitais.



Fig. 10a/10b – a) *Westworld*, 1973; b) *Futureworld*, 1976 (*Westworld* (1973), n.d. & Jenkins 2009).

A utilização de imagens geradas por computador no cinema iniciou-se em 1973 com o filme *Westworld*. As imagens 2D foram concebidas pela empresa *Information International, Inc.*, mais conhecida por *Triple-I*, e procuravam mostrar o ponto de visão do *robot* pistoleiro. Segundo a *Turner Classic Movies*, algumas das imagens demoravam 8 horas a gerar completamente, tendo sido necessários diversos testes até se encontrar a aparência desejada (ver Fig.10a).

Em 1976 uma sequela do filme foi realizada sob o nome de *Futureworld*. Este foi o primeiro grande filme a usar imagens geradas por computador em 3D. As técnicas de CGI foram utilizadas na concepção de uma mão e de uma face animadas pela Universidade do Utah (ver Fig.10b). No primeiro caso a mão animada foi feita a partir da mão esquerda de Edwin Catmull, cientista de computação. O filme também utilizou imagens 2D para a composição de personagens sobre um cenário.

Em 1977, o filme *Star Wars – A New Hope, Episode IV*, ganha um óscar da Academia pelos efeitos visuais. Neste filme foi utilizada pela primeira vez de forma mais significativa uma animação 3D concebida unicamente por CGI. Na cena de preparação para o ataque à nave espacial estrela da Morte, uma versão 3D em *wireframe* da nave é projectada para visualização dos pontos cruciais da missão (ver Fig. 11).



Fig. 11a/11b - *Star Wars – A New Hope, Episódio IV* (1977); à esq. holograma da “Death Star” e à dir. nave espacial. Os FX foram conseguidos respectivamente através da utilização de CGI e de miniaturas (Curtis, © Curtis Saxton 1996-2005 & *What is your favorite special effects moment?*, n.d.).

Para além desta grande inovação, o computador é utilizado pela primeira vez no controlo dos movimentos da câmara – o *motion control*. Esta técnica foi muito útil na realização das batalhas no espaço, onde complexos movimentos podiam ser programados e repetidos sempre que necessário até o realizador estar satisfeito com a filmagem. Este filme foi o primeiro grande trabalho da companhia de Efeitos Especiais Industrial Light & Magic (ILM) de George Lucas, que viria a ser a mais prestigiada na história do cinema.

Em 1982, *Star Trek: The Wrath of Khan* apresenta pela primeira vez uma sequência animada com a duração de 1 minuto, totalmente concebida por imagens geradas por computador, o chamado “*Genesis Effect*” (ver Fig. 12). Este efeito visual utilizou também pela primeira vez paisagens geradas por fractais e um sistema de *rendering* por partículas. Este trabalho foi realizado pela Pixar da ILM, uma divisão da LucasFilm, e recebeu o prémio da Academia para melhores efeitos visuais.



Fig. 12 - *Star Trek: The Wrath of Khan* (1982), "Genesis Effect"
(Carlson 2003, section 12).

Todavia, *Star Trek* poderia ter perdido a estatueta para o filme do mesmo ano *Tron* (1982). A fantasia de Steven Lisberger representa um mundo totalmente virtual - o mundo de um videogame - e é nele que a história se desenrola. Para este filme foi criado um mundo gráfico totalmente em 3D, e foram geradas imagens suficientes para criar cerca de 20 minutos do filme. Os FX resultaram de um esforço combinado entre as empresas Triple I, MAGI/Synthavision, Robert Abel & Associates e Digital Effects. Outro dos efeitos introduzidos foi chamado de *backlight animation*, onde a luz era controlada através de filtros de forma a criar efeitos de luz e cor muito vibrantes.

Ainda no mesmo ano, John Dykstra, que já havia trabalhado com George Lucas em *Star Wars*, inventa uma técnica pioneira de FX, o "*Reverse Bluescreen*". Esta técnica foi desenvolvida com o objectivo de filmar sequências de voo para o filme *Firefox* (1982), desta feita com fundos geralmente demasiado difíceis de trabalhar através da técnica usual de *bluescreen*. Os modelos eram pintados com tinta de fósforo e fotografados com luz muito forte contra um fundo negro, sendo depois refotografados com luz ultra-violeta, o que transformava o modelo irradiador de luz num modelo emissor de luz. Quando fotografado numa película especial, esta criava os necessários *mattes* macho e fêmea. Esta técnica era especialmente útil para filmar objectos brilhantes no escuro (Erland 1982).

Quanto às filmagens com a técnica de *matte*, mantiveram-se praticamente as mesmas depois do desenvolvimento dos *travelling mattes*. Apenas nos anos 80 com o desenvolvimento de *software* de imagens para computador é que os profissionais de *matte* puderam trabalhar na era do digital. O primeiro *Matte* completamente digital foi criado pelo pintor Chris Evans em 1985 para o filme *Young Sherlock Holmes*. O mesmo já havia feito as primeiras experiências através da aplicação de *mattes* semi-digitais, para a transformação do planeta árido num mundo verde no filme *Star Trek: The Wrath of Khan* (1982). Na altura foi aplicado o método de mapeamento de texturas para a formação das nuvens e utilizaram-se pinturas 2D para envolver a *wireframe* do planeta *Genesis* (Vita 2008, pp.113-114).



Fig. 13 - *Young Sherlock Holmes*, 1985 (*Milestones in Film History: Greatest Visual and Special Effects and Computer-Generated Imagery (CGI)* - part 12, © 2010 American Movie Classics Company LLC)

No filme *Young Sherlock Holmes* é realizada uma combinação indetectável entre uma animação feita por CGI e o *matte* digital, algo que não seria possível de conseguir pelo método tradicional de *matte painting* (ver Fig. 13). Steven Spielberg, utiliza os efeitos da Pixar, que na altura ainda fazia parte da ILM - Lucas Film, para criar a primeira animação foto-realista completamente em 3D digital. Foi também neste filme que surgiu a primeira personagem animada por computador, a ser digitalizada e pintada directamente na película através de um laser. A cena tem apenas 30 segundos mas demorou cerca de 6 meses a realizar (*Milestones in Film History: Greatest Visual and Special Effects and Computer-*

Generated Imagery (CGI) - part 12, Copyright 2010 American Movie Classics Company LLC,).



Fig. 14a/14b – a) *Luxo Jr.* (1986), animação realizada pela Pixar; b) *Star Trek IV* (1986), onde se observam imagens conseguidas através do novo processo de digitalização 3D (Hornby 2007 & *Milestones in Film History: Greatest Visual and Special Effects and Computer-Generated Imagery (CGI) - part 12*, © 2010 American Movie Classics Company LLC).

No final de 1986, Lasseter criou uma curta-metragem com o objectivo de demonstrar as capacidades da *Pixar Image Computer* na produção de animações 3D. Com o título de *Luxo Jr.*, o filme tinha como personagens um par de candeeiros (ver Fig. 14a). A escolha de candeeiros foi propositada, pois eram relativamente simples de animar. Tinha por objectivo demonstrar a força da animação digital e de como objectos simples conseguiam exprimir emoções complexas, sem ser necessário recorrer às dificuldades de criar digitalmente o rosto humano. Lasseter conseguiu impressionar não só cientistas de computação como também a indústria cinematográfica, tendo sido a curta-metragem nomeada para *Best Short Animated Film* dos Óscares da Academia nesse ano (Hornby 2007). Na vertente oposta, o filme *Star Trek IV: The Voyage Home* (1986) apresenta a grande novidade a nível da evolução da tecnologia de digitalização 3D e de *software* para CGI, utilizando o programa de digitalização 3D da *Cyberware* para a representação digital dos rostos dos actores quando estes viajam através do tempo (ver Fig.14b).

Em 1987, com o filme *Star Trek – The Next Generation*, Don Lee da CIS vfx (*Composite Image Systems*), propõe um processo para captura de *mattes*

com luz ultra-violeta. Gary Hutzel e o seu *staff*, da empresa Image G, desenvolveram o processo, que envolvia a aplicação de uma luz laranja fluorescente que tornava mais fácil a geração dos *matte*s. A técnica permitiu à equipa de FX reduzir para um quarto o tempo necessário para a aplicação do método.



Fig. 15 - *The Abyss* (Cameron,1989), o “*pseudopod*” foi a primeira personagem CGI animada digitalmente (*Famous Historical CGI Images*, © 20th Century Fox).

Em 1989, o filme *The Abyss*, realizado por James Cameron, apresenta pela primeira vez uma personagem integralmente concebida por CGI e animada digitalmente, a “*pseudopod*”. A manipulação desta personagem envolveu *software* muito complexo na simulação das transparências e dos seus movimentos uma vez que a mesma era feita de água (ver Fig. 15). O filme arrecadou o óscar para melhores efeitos visuais.

Exterminador Implacável II - o dia do julgamento (1991), também realizado por James Cameron, através da modelação do *Cyborg* exterminador T-1000 em metal líquido, demonstra que os efeitos visuais produzidos por CGI tinham possibilidades verdadeiramente impressionantes (ver Fig. 16). A introdução da técnica de *morphing* vinha a ser desenvolvida desde 1986 com o filme *Willow*, mas só nesta altura se consegue *software* suficientemente bem desenvolvido para a dominar. Esta vem permitir que em filmes e animações se passe de uma imagem para outra através de uma transição quase indetectável.



Fig. 16a/16b – O filme *Exterminador Implacável II – O dia do Julgamento* (Cameron, 1991) recorre a *software* especializado para dominar a técnica de *morphing* (gameinformer, © 2010 & Milestones in Film History: Greatest Visual and Special Effects and Computer-Generated Imagery (CGI) - part 13, © 2010 American Movie Classics Company LLC).

Com *Jurassic Park* em 1993, Steven Spielberg utiliza pela primeira vez personagens CGI foto-realistas com pele texturada e músculos. Inicialmente estava prevista uma maior utilização de personagens robotizados movidas pela técnica desenvolvida pela Disney, *animatronics*, mas rapidamente a qualidade da CGI obtida pôs um elevado número das sequências a realizar por *stop-motion* e *animatronics* de parte (ver Fig. 17). Estas foram substituídas pela composição digital de imagens reais captadas pela técnica de *bluescreen* e imagens CGI das personagens 3D (desenvolvidas pela *Industrial Light & Magic*). Foi o primeiro filme a utilizar extensivamente personagens de CGI misturadas com acção real e ganhou nesse ano o óscar para melhores efeitos visuais.

Assistiu-se a uma gradual adaptação das técnicas de desenhos animados e de animação de modelos (*stop-motion*) para a criação das imagens digitais em computador. No caso de *Jurassic Park*, os animadores de *stop-motion* tiveram de fazer um treino especial para se adaptarem aos *softwares* que permitiram a criação realista dos dinossauros. Na altura, o público ficou impressionado com a qualidade foto-realista conseguida nas diferentes aplicações.



Fig. 17a /17b - *Jurassic Park* (Spielberg, 1993) personagens como o *T-rex*, realizados através de modelos CGI foto-realistas com pele texturada e músculos, são utilizados em conjunto com personagens desenvolvidos por *animatronics*¹⁸ (Nattyb 2008 & Vallance 2008).

De facto, a eliminação da impressão óptica levou a que se receasse que o computador substituísse os animadores de *stop-motion* e os modeladores de maquetes e personagens. Parque Jurássico veio demonstrar exactamente o contrário. Ficou compreendido que apesar da alteração nos modos de produção, os animadores continuariam a ser necessários como especialistas no movimento e em anatomia, modificando-se apenas os procedimentos para obter resultados semelhantes: '[t]hat year, which saw the release of the digital dinosaurs ILM created for *Jurassic Park*, marked a transition from Machine Age tools to computers and software' (Cotta & Barron cit. Vita 2008, p.147). Os departamentos de efeitos visuais passaram a englobar profissionais tão diversificados como animadores, modeladores/escultores, compositores, desenhadores, programadores, peritos em digitalização 2D e 3D, especialistas na gestão de dados obtidos por *motion capture* e no próprio *motion capture*, miniaturistas, etc. Os programadores têm um papel especial nestes departamentos, uma vez que se encarregam de realizar *software ad hoc*, específico para as necessidades exigidas para cada novo projecto (Vita 2008, pp.146-147).

A seguir a *Exterminador Implacável II* e *Jurassic Park*, a composição digital passou a estar presente na maior parte dos filmes de Hollywood. Com a utilização da CGI, a utilização do *chroma-key* para adicionar fundos construídos

¹⁸ *Animatronics*, construção e movimentação de robôs com a forma de animais (desenvolvido pela Disney).

inteiramente por CGI tornou-se um processo extremamente controlado, revolucionando o meio cinematográfico e televisivo. Eram inúmeras as possibilidades de composição, podendo os actores representar separadamente e depois serem combinados os seus desempenhos. Da mesma maneira, o novo sistema permitia aos actores representarem dentro do estúdio e aparecerem na filmagem final virtualmente em qualquer parte do mundo real ou imaginário sem nunca terem saído do estúdio.

Ainda em 1993, a técnica de *bluescreen* é consagrada através da atribuição do prémio Gordon E. Sawyer¹⁹ a Peter Vlahos, um dos principais mentores e impulsionadores da técnica. Na altura, os desenvolvimentos por si apresentados baseavam-se no facto de a maior parte dos objectos nas cenas reais terem na sua cor uma componente azul que é semelhante à intensidade da sua componente verde. Zbig Rybezynski também contribuiu para os novos desenvolvimentos da técnica de *bluescreen*.²⁰

Babylon 5 (1993), tornou-se a primeira série de televisão a utilizar as técnicas de CGI como método principal para efeitos visuais. Destacou-se nomeadamente por ter sido a primeira série de televisão a utilizar cenários virtuais (ver Fig.18). Sempre que necessário os actores filmavam num estúdio virtual e a acção ao vivo era depois combinada com o cenário em pós-produção.



Fig. 18a/18b/18c – a) e b) realização de cenas num estúdio com *greenscreen* de grandes dimensões (*Babylon 5*, 1993); b) imagem gerada a partir do modelo CGI que serve de *background* às imagens a) e b) (Dunlop, © 2002-2010 Ballistic Media).

¹⁹ O Gordon E. Sawyer Award é um prémio dado todos os anos pela Academy of Motion Picture Arts and Sciences, a alguém que no meio cinematográfico tenha contribuído tecnologicamente para o avanço da indústria.

²⁰ Mais tarde, Peter Vlahos funda a empresa *Ultimatte*, hoje uma das principais fornecedoras de material/software para trabalhar com *bluescreen*, no cinema e na televisão.

Durante a década de noventa, o *matte painting* tradicional fez a sua adaptação ao meio digital através de *softwares* como o Photoshop e *softwares* para modelação 3D. Os “*matte painters*” tiveram de fazer uma aprendizagem transferindo as suas habilidades para a utilização das novas ferramentas disponíveis. Rapidamente se aperceberam das suas possibilidades, da rapidez com que se obtinham resultados, se alteravam as imagens em função das necessidades de filmagem e se aplicavam efeitos especiais diferentes. No que diz respeito à composição óptica com *bluescreen*, a nova imagem manipulada *pixel a pixel* no Photoshop permitia eliminar completamente as linhas indesejáveis que surgiam pelas limitações do próprio processo óptico e da película (Vita 2008, pp.114-116).

As imagens utilizadas para substituir o fundo (*bluescreen*) tinham origens diversas: *live footage*, materiais de arquivo, *matte paintings* digitais, actores virtuais, imagens CGI, etc. As técnicas, na realidade, não eram muito diferentes das já utilizadas. A era digital havia, sim, ampliado as suas possibilidades. Segundo Vita, o grande salto que conduziria a uma revolução no cinema e na televisão assentou nas imagens geradas por computador aliadas à animação digital (Vita 2008, pp.128-129).



Fig. 19 - Toy Story (1995) – filme de animação 3D (Chip Company, n.d.)

A ilustrar isso mesmo temos a realização de *Toy Story* em 1995, o primeiro filme animado de longa metragem a ser produzido integralmente em CGI (ver Fig. 19). Foram necessários quatro anos para realizar o filme, foram gerados 1000 *gigabytes* de dados e foram precisas 800 000 horas para realizar o *rendering* do filme. John Lasseter, realizador da longa metragem, ganhou um óscar por “*special achievement*”.

No caso do filme *Casino*, as possibilidades conquistadas pelos avanços tecnológicos trazidos pelo computador permitiram recriar o ambiente da Las Vegas dos anos 70. O realizador, Martin Scorsese, desejava mostrar a envolvência típica da época, mas muitas das construções já haviam desaparecido. Para fazer as adaptações necessárias foram reconstruídos digitalmente todos os elementos, quer pela técnica de *matte painting* digital quer através de modelação 3D (ver Fig. 20).



Fig. 20a/20b/20c - Morgan Trotter a realizar o *matte painting* para o filme *Casino* (1995) de Martin Scorsese, imagem original e imagem compósita depois de aplicado o *matte* 3D (Vita 2008, pp.114-115).

Em 1999, em *Star Wars: Episode I - The Phantom Menace*, George Lucas demonstra um domínio surpreendente da técnica de *bluescreen*, animação e *matte painting* digital (ver Fig. 21). O realizador recorre à CGI e aos efeitos visuais como em nenhum outro filme até à data; 90% do filme continham animação digital e FX. Apenas 12 minutos de 133 não foram trabalhados digitalmente. Foram utilizados cerca de 60 personagens digitais, entre as quais Jar Jar Binks, um humanóide completamente articulado e criado por CGI.



Fig. 21a/21b - *Star Wars: Episode I - The Phantom Menace*, 1999 (Vita 2008, p.125).

De 2001 a 2003, com a trilogia *The Lord of the Rings*, Peter Jackson ganha o prémio da Academia para Efeitos Visuais durante 3 anos seguidos. A equipa de FX (Weta Digital, empresa australiana fundada pelo realizador) contribuiu de forma significativa para o desenvolvimento de diverso *software* para CGI e para a implementação do uso de *motion capture*²¹ na animação de personagens digitais. *Gollum* vem a ser a personagem digital animada mais bem conseguida até então. Realizada através da captação de dados obtida pela actuação do actor Andy Serkis, revoluciona a criação de personagens fictícias no cinema.

Em 2004, *Sky Captain and the World of Tomorrow*, realizado por Kerry Conran, foi o primeiro filme a ser feito integralmente em estúdios virtuais e onde todas as cenas são fruto da composição de actores reais com cenários

²¹ Processo de captação e gravação dos movimentos de sujeitos reais para posterior utilização na animação de um modelo digital. O processo de captura consiste em vestir o actor com uma roupa especial onde são colocados reflectores (sistemas ópticos) ou transmissores (sistemas magnéticos). Os marcadores são colocados nas chamadas "articulações universais", que fornecem os dados para a representação do movimento humano. Um sistema de câmaras funciona em conjunto gerando as coordenadas 2D de cada marcador. O conjunto dos dados 2D capturados pelas diferentes câmaras é analisado pelo *software* e transformado em informação 3D. São necessárias tantas mais câmaras quanto maior for a complexidade da cena.

virtuais. O projecto foi muito ambicioso sobretudo pela dificuldade que os actores enfrentaram ao ter de contracenar sempre sobre um fundo azul. O filme combina animação, imagens digitais e *live footage* com *bluescreen*. Foram precisos quase 2000 planos de FX durante 6 anos de produção para se finalizar o filme (1994-2000) (ver Fig. 22 e 23).



Fig. 22a/22b - *Sky Captain and the World of Tomorrow* (2004), de Kerry Conran, filmagens com *bluescreen* (Vita 2008, p.136).



Fig. 23a/23b - *Sky Captain and the World of Tomorrow* (2004), imagens finais conseguidas por composição e animação digital (Vita 2008, p.140).

Em *I Robot*, realizado por Alex Proyas, lançado no mesmo ano de *Sky Captain*, foram utilizadas técnicas semelhantes como a integração da acção em estúdio com a imagem digital, as filmagens com *blue/greenscreen*, a animação digital, mas também técnicas bastante distintas como as miniaturas, os modelos e o *motion capture* (ver Fig. 24). A história passa-se num mundo do ano 2035, onde os seres humanos coexistem com robôs. Foram criados muitos cenários futuristas e para a totalidade de FX foram contratadas diversas empresas tais como a WETA Digital, Digital Domain, Imagine Engine, Rainmaker e a Pixel Magic.



Fig. 24 - *I Robot* (2004), realizado por Alex Proyas (Vita 2008, p.140).

A personagem principal do filme é um robô, Sonny. Para conseguir dar credibilidade à personagem utilizou-se a técnica de *motion-capture* capturando os gestos e movimentos de um actor, que posteriormente foram aplicados na animação do modelo tridimensional. O foto-realismo conseguido fez com que a integração da animação se fizesse de forma imperceptível, tornando indistinguível visualmente o que é real e o que é ficcional. Em estúdio, o actor que dá vida a Sonny contracena com os outros actores possibilitando-lhes a correcta interacção com a personagem virtual, algo que não era possível anteriormente, dificultando o desempenho dos actores ao trabalharem com a técnica de *blue/greenscreen* (ver Fig.25). Por sua vez o actor, ao vestir-se de verde com um fundo verde tornava relativamente fácil eliminar os seus dados digitalmente para que fossem substituídos pelos da personagem final (Vita 2008, pp.141-142).

I Robot utilizou as tecnologias mais avançadas para a altura e, tal como acontece na actual cenografia virtual televisiva, o realizador podia visualizar simultaneamente em tempo-real a integração dos elementos virtuais com a acção real enquanto gravava (ainda que em baixa resolução).



Fig. 25a/25b/25c - *I Robot* (2004); a) e b) fotos do actor que animou a personagem através da técnica de *motion-capture*; c) imagem do modelo digital final (Vita 2008, pp.140-141).

Finalmente, a evolução das técnicas de FX no cinema tiveram através do filme “300”, realizado por Zack Snyder em 2007, um particular exemplo do sucesso possível de alcançar através da aplicação da Cenografia Virtual. Numa adaptação da banda desenhada de Frank Miller, Zack Snyder propôs-se realizar não uma versão “Hollywoodesca” da história, mas sim uma versão “viva” do próprio livro (*300 - The complete experience*, 2007). Assim, tal como no livro os ambientes são produto da imaginação, no filme estes são concebidos integralmente com o auxílio da técnica de *bluescreen*, obtendo-se um resultado criativo semelhante. Paisagens, batalhas, acções, arquitectura, tudo foi feito a partir do que havia sido criado por Frank Miller (ver Fig. 26).



Fig. 26 – Filme *300* de Zack Snyder (2007), onde se utiliza extensivamente a técnica de *bluescreen* (CinePop, n.d).

Para o director artístico de *300*, James Bissel, o filme necessitava de uma abordagem arrojada no design de produção, devido à natureza virtual dos cenários e ao facto do realizador ter desejado ser o mais fiel possível ao estilo visual estabelecido pelo livro de Miller (ver Fig. 27). Utilizando o *storyboard* que Zack Snyder criara a partir da banda desenhada de Miller, Bissel e a sua equipa criaram ambientes 3D e ilustrações (Esparta, Terra Grega e Termopólida, lugar da épica batalha) para a realização dos *backgrounds* do filme (ibid.).



Fig. 27a/27b - Em cima imagem retirada da banda desenhada de Frank Miller²² e em baixo desenho realizado como *storyboard* para o filme *300* por Zack Snyder (*300 - The complete experience - Making of 300 - Ink to film*, © 2007 Warner Bros. Ent..).

Foi necessário estudar bem o que teriam de fazer os actores durante a rodagem do filme até decidirem o que teria de ser efectivamente construído, uma vez que tudo o resto seria virtual. Os mesmos ambientes eram abstractos e podiam ser utilizados em várias situações, apenas mudando o ângulo da câmara ou adicionando elementos. Utilizaram-se apenas três cenários reais em todo o filme, tendo a cena que envolveu cavalos sido filmada no exterior. Este procedimento levou a uma redução significativa no orçamento final (ibid.).

²² A banda desenhada *300* foi publicada em 1998 pela editora Dark Horse Comics.

Surgiram algumas inovações pela mão do cenografista Larry Fong ao inventar um método eficaz de filmagens aéreas associadas a uma iluminação ideal que permitia uma mudança de perspectiva ao reverter a iluminação (id.ibid.).



Fig. 28a/28b – Filme 300 de Zack Snyder, cena filmada com *bluescreen* e resultado final após composição digital dos elementos reais e FX (300 - *The complete experience - Making of 300 - Ink to film*, © 2007 Warner Bros. Ent.).

Como todo o cenário virtual é adicionado posteriormente, nem as câmaras nem os actores precisavam de se mover, o que fez com que estes sentissem alguma desorientação. Segundo os actores, o facto das cenas serem bastante físicas acabou por facilitar o processo de interpretação, levando-os a esquecer o *bluescreen*. Às imagens captadas pela técnica de *bluescreen* foram acrescentados cerca de 1300 planos com FX. Os artistas podiam manipular as cores aumentando o contraste entre o claro e o escuro e algumas cenas foi-lhes retirada saturação ou acrescentada alguma coloração (*tint*) para se definirem ambientes com sensibilidades diferentes (ver Fig. 28). Chris Watts, responsável pelos efeitos visuais, teve como desafio criar uma versão tridimensional do mundo de Miller, acrescentando elementos que não faziam parte do livro original. A pós-

produção durou cerca de um ano e foi realizada por 10 empresas de FX, o que levou à adopção de um guia de estilo para todas as equipas (id.ibid).

A escolha do *bluescreen* em detrimento do *greenscreen* foi propositada uma vez que a cor vermelha predomina no filme e, quando colocada contra um fundo verde resulta num objecto com os contornos ligeiramente amarelados, igualmente pelo facto do *greenscreen* reflectir melhor a luz e como tal gerar cenas mais claras do que as que eram desejadas para a realização do filme (id.ibid.).



Fig. 29 - Cena do filme 300 onde se observa a adição de centenas de personagens virtuais (Attili 2007).

As limitações da filmagem de um épico com *bluescreen* tiveram de ser contornadas de diversas formas. Watts explica que para as cenas em que era preciso filmar um actor a caminhar em direcção à câmara e a percorrer uma distância longa havia problemas de espaço. Então filmavam os elementos e colocavam-nos em câmara lenta. Ao acrescentarem o fundo digitalmente provocavam a ilusão de que tinha sido percorrida uma longa distância. Afirma ainda que foram acrescentadas centenas de personagens virtuais, suplantando estas largamente o número de personagens reais que participaram no filme (ver Fig. 29) (id.ibid).

Esta experiência mostra-nos a forma impressionante como a técnica do *bluescreen* ultrapassou todas as dificuldades de outrora. Anos de experiência aumentam a passos largos, as possibilidades criativas pelo controlo da tecnologia. Por outro lado, se esta se encontra extremamente bem integrada no meio cinematográfico, as condicionantes para a sua implementação no meio audiovisual revelar-se-ão não só de ordem bastante diversa, como também bastante restritiva.

III. A CENOGRAFIA NA TELEVISÃO

Em 1927, o cinema surge como o primeiro grande entretenimento para as massas através do desenvolvimento da indústria cinematográfica em Hollywood, graças ao facto de ser bastante mais acessível do que os teatros do séc. XIX. Contudo, a grande revolução dá-se por volta de 1950 com a televisão, tornando-se o meio de comunicação em massa mais acessível até à data. A televisão foi responsável por levar para casa dos espectadores uma vasta diversidade de espectáculos de divertimento, desde filmes a emissões desportivas, passando por *talk shows*, *sitcoms*, concertos ou vídeos entre muitos outros formatos (Ruivo 2006, pp.20-22). A grande diferença estava em que as pessoas já não tinham que se deslocar a um outro lugar para assistirem a espectáculos. Surgia deste modo, uma nova indústria de entretenimento e com ela todo um role de novas profissões na qual se inseriram os cenógrafos televisivos.



Fig. 30 - Anos 1930, Estúdio A da BBC, Londres (Kempton 2010).

No entanto o desenvolvimento da indústria televisiva não foi contínuo, tendo abrandado de alguma forma devido às desconfianças por parte da indústria cinematográfica durante as décadas de 40 e 50, sobretudo nos Estados Unidos. Segundo Polainas (1998), no final dos anos 1950 a expansão da televisão e as hipóteses de mercado tinham crescido de tal forma que o próprio cinema começou a aproveitar-se dessa dinâmica. As diferenças na maneira de realizar começaram a esbater-se, chegando mesmo em casos experimentais a operar-se uma fusão das duas técnicas. Afirma ainda que a televisão foi mais directamente influenciada pelo teatro do que pelo cinema, principalmente na produção de séries e dramas. O facto destas séries serem transmitidas ao vivo e de muitos actores sem trabalho terem sabido propor diversos programas de sucesso, foi determinante para a sua expansão (Polainas 1998, p.21).

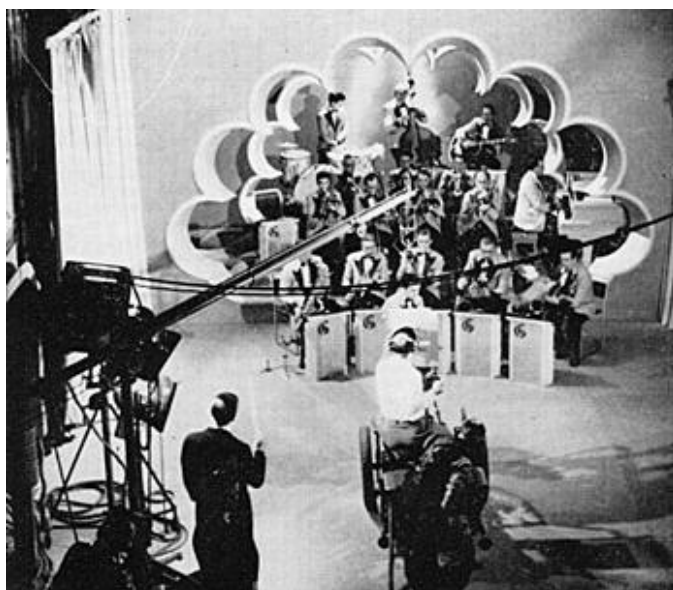


Fig. 31 - Transmissão em directo do programa da BBC *Gerald's Orchestra* em 7 de Junho de 1946 (Kempton 2010).

Os pilares da indústria televisiva apoiaram-se em estratégias de fidelização dos espectadores com base em diversos tipos de programas e o sucesso obtido atraiu o interesse de grandes empresas que apostaram na televisão para fazer publicidade às suas marcas. A partir daqui assistiu-se ao

desenvolvimento e expansão do que se transformou no mais importante meio de comunicação massiva, o audiovisual.

A cenografia televisiva começou por ser então uma adaptação daquilo que já se fazia em teatro, sendo que no início a forma de realização era bastante semelhante. As câmaras eram alinhadas de frente para o cenário e havendo público este assistia no espaço por detrás das câmaras. O fascínio pela envolvimento que os personagens criavam com o espectador impedia-o de notar que os cenários tinham maus acabamentos, eram mal pintados ou que os adereços eram reduzidos ao essencial para a encenação do programa. Tal como no Teatro a acção desenvolvia-se sempre na parte central do cenário (Polainas 1998, pp. 21-22).

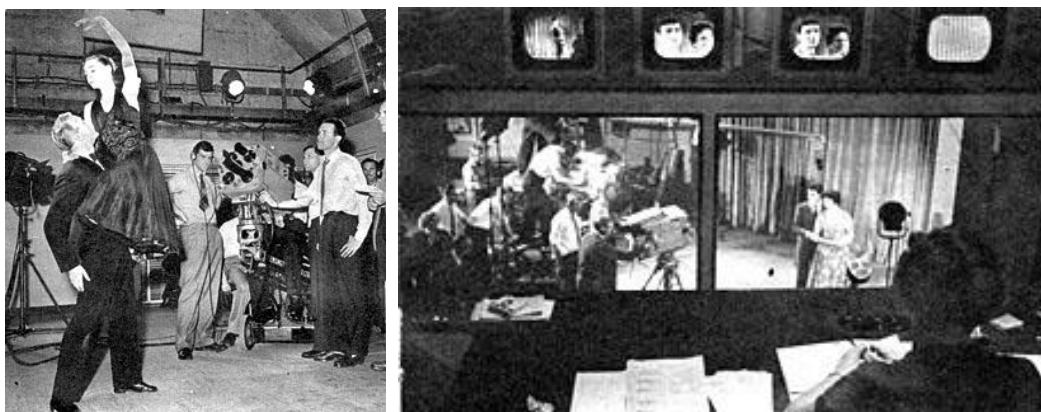


Fig. 32a/32b - Estúdio Viking da ITV (Londres), utilizado para realizar filmes entre 1947 e 1950. Os monitores por cima da janela do estúdio permitiam ao produtor verificar exactamente aquilo que se passava em estúdio (Kempton 2010).

No final dos anos 50 o êxito dos programas de televisão impulsionou a sua comercialização na Europa. No entanto a existência de diferentes sistemas de televisão NTSC nos E.U. e PAL e SECAM na Europa tornavam difícil o intercâmbio comercial. Esta situação levou a que para poderem exportar os seus programas os E.U. comesçassem a gravá-los em filme (vídeo), levando a que a técnica de realização com base nas produções teatrais fosse substituída por uma adaptação das técnicas de realização utilizadas no cinema. O tipo de realização com 3 ou 4 planos teve de ser abandonado e substituído por

outro mais complexo em que dezenas de planos eram utilizados, é aqui que o cenário passa a ter uma relação indissociável da realização (Polainas 1998, pp. 22-23).



Fig. 33 - *Arthur Haynes Show*, gravado em 1962 no estúdio *Wood Green Empire* em Londres (foto colorida) (Kempton 2010).

Aos poucos as televisões foram-se apercebendo da necessidade de contratar e formar pessoal especializado, que dominasse a linguagem televisiva e ao mesmo tempo trabalhasse na concepção de cenários. Este tipo de profissionais acabou por ser recrutado no cinema e no teatro. No caso específico da BBC, a formação dos seus próprios cenógrafos televisivos, levou à introdução da prática e rigor técnico da arquitectura no departamento de Cenografia. À semelhança de outras televisões, procurava-se construir uma identidade visual e dominar o processo de construção dos cenários utilizados nos diferentes tipos de programas (ibid., p.23).

Em meados dos anos 70, os recursos da informática começam a ser introduzidos, primeiro para automatizar os trabalhos e mais tarde no próprio processamento da imagem. É também nesta altura que surgem as primeiras transmissões a cores criando novas oportunidades para cenógrafos e figurinistas (Dias 2007a).



Fig. 34 - *The Muppets* (1977), gravação do programa *Swine Trek* no estúdio D da ITC em Londres (Kempton 2010).

Aos poucos, regras bem definidas foram construindo o universo televisivo, o que permitiu aos cenógrafos conceber de forma mais esquemática os projectos que lhes eram encomendados. Nas diferentes tipologias de cenários a aplicar, enquadravam-se programas com um espaço central único, como alguns programas de entrevistas; espaços divididos por vários módulos como é o caso das telenovelas; exteriores onde comentaristas noutros locais se conectam com o estúdio central (comum nos programas de informação); exteriores, que ligam o estúdio central a locais reais; e por último e de forma mais elaborada, diversos módulos espaciais que interagem e transformam cenários noutros cenários mesmo diante da plateia e das câmaras (Dias 2007a).



Fig. 35 - *Morning Britain*, gravação no estúdio A da BBC (Londres, 1983) (Kempton 2010).

Instituíram-se diferentes formas e estilos de cenários que permitiam moldar eficazmente as técnicas cenográficas aos diferentes tipos de programas. Os procedimentos incluíam escolher o tipo de “disposição dos elementos arquitectónicos e cenográficos (fundo neutro, desenho, fotografia, logotipo, mobiliário, etc); a escolha das cores (tons quentes e frios, harmonia e contraste, predominância de cores, etc.); a aplicação das luzes (disposição, direcção, valores cromáticos, etc.); e as características das superfícies (materiais utilizados, relação com fontes luminosas, texturas, etc.) (Dias 2007a).



Fig. 36a/36b/36c - Cenários BBC News, Londres (Walker, 2010)

Entretanto, outro tipo de preocupações tiveram de ser contabilizadas na realização dos cenários televisivos. O facto das produções se destinarem a ser transmitidas numa imagem vídeo de pequenas dimensões tinha implicações ao nível da concepção de cenários, pois existia sempre o perigo do excesso de detalhe se diluir nas “linhas de varredura”.²³ Com a evolução dos aparelhos de televisão e do equipamento técnico utilizado pelas estações televisivas, esta realidade percipitou-se numa mudança emergente que levou a cenografia a novas mutações nas suas estruturas e estilos. A introdução da High Definition Television (HDTV), a imagem videográfica de alta qualidade e as possibilidades oferecidas pela utilização de complexos sistemas de *hardware* e

²³ Numa câmara de vídeo, cada quadro ou fotograma é composto de centenas de linhas horizontais, ao longo das quais existem milhares de pontos com informações sobre brilho e cor. Estas informações são percebidas eletronicamente pela câmara (e reproduzidas pelo televisor), codificadas e ordenadas sequencialmente da esquerda para a direita e de cima para baixo durante o processo de varredura (*scanning*). Para reduzir o tremor e as variações no brilho da imagem durante o processo de varredura, cada quadro de vídeo é dividido em dois segmentos entrelaçados (*interlaced*). As linhas ímpares são varridas primeiro, e as linhas pares, a seguir.

software adaptados à concepção de cenários, provocaram uma alteração drástica no tipo de imagens a serem transmitidas. Em 2005, Luz prevê as vantagens da utilização de Cenografia Virtual no novo padrão televisivo:

[c]om a banalização da HD é natural que a ilusão realística dos cenários e intervenientes poderá tornar-se mais factível. Tendo em conta que das 720x576 linhas se irá evoluir para um formato de 1920x1080, este impressionante incremento de linhas permitirá uma maior nitidez aproximando-se da qualidade que a película oferece. O tradicional formato PAL ou NTSC possui cerca de 400.000 pixels o que representa sensivelmente 1/5 dos 2,07 milhões que o formato HD contém. A diagonal de ecran é semelhante à do formato 16:9 ($1080 \times 16/9 = 1920$) e com o pixel quadrado a manter-se, o HD enquadra-se perfeitamente no meio informático. A transição do sistema PAL para o HD será então uma vantagem para a cenografia virtual, dado que as texturas, objectos e vídeos projectados podem ser apresentados com resolução mais próxima dos poderosos motores de render utilizados nos softwares 3D. Por outro lado, a cenografia tradicional ao ser captada por um formato HD, vê ampliada toda a arte do cenógrafo, logo se existirem erros, tais como o desgaste dos materiais, facilmente serão projectados para a televisão (Luz 2005a).



Fig. 37a/37b/37c - Cenários virtuais realizados pela BBC News com a implementação da técnica de *blue/greenscreen* (Walker, 2010).

Conclusivamente, pudemos observar neste enquadramento ao tema de estudo, que a importância da integração e utilização de sistemas informáticos no meio audiovisual, assim como a passagem da Standard Definition Television (SDTV) para a HDTV, veio revolucionar a evolução da cenografia abrindo um novo capítulo na sua história. Esta veio permitir que fosse implantada no meio televisivo a técnica de *bluescreen* dando aso àquilo que chamamos hoje de cenografia virtual. As imagens que assistimos quotidianamente em casa deixaram de coincidir com a realidade vivida dentro do estúdio, 'trata-se agora de um realismo conceptual, construído com modelos que existem na memória do computador e não no mundo físico' (Machado cit. Dias 2007a). O que começou

por pequenos efeitos especiais foi crescendo até se transformar em parte do cenário, em alguns programas são quase a totalidade, senão, o cenário por inteiro (Dias 2007a).

PARTE I.

A cenografia Virtual no meio audiovisual

Na primeira parte é realizada uma perspectiva da integração da Cenografia Virtual no meio audiovisual, dando especial relevo ao caso português, e identificando-se de igual forma quais as entidades que contribuem para a investigação e ensino no nosso país.

Incluimos ainda uma explanação detalhada do funcionamento do estúdio Virtual de TV nas suas componentes e *modus operandi*, as tecnologias empregues e a forma como todos os intervenientes se articulam. Nos Apêndices C, D e E podem ser consultados os métodos utilizados para o domínio da técnica em estúdio, as vantagens e limitações da tecnologia, e alguns dos últimos desenvolvimentos na sua aplicação.

Capítulo I

Integração da Cenografia Virtual no meio Televisivo

Dos diversos autores consultados, muitos consideraram que a história da cenografia encontra-se neste momento numa fase de transição. Porquanto a tecnologia se vai tornando uma forma de trabalho familiar, ainda são inúmeras as suas facetas por explorar. Devido ao aparecimento da Cenografia Virtual, assiste-se ao possível nascimento de um novo conceito de composição cenográfica até então desconhecido e inexplorado na história da Cenografia.

Segundo Urssi (2006, p.95), 'a construção e a manipulação de um modelo virtual tridimensional ampliou as habilidades do cenógrafo profissional na criação e construção de cenários na geração, na manipulação das luzes, nas anotações para cada sequência e nas suas aplicações dentro do espectáculo'. A exploração do espaço virtual, dentro das técnicas tradicionais juntamente com a análise de ambientes gerados virtualmente interactivos e imersivos na prática contemporânea do espectáculo, propiciou novos meios e elementos de criação cenográfica (Urssi 2006, pp. 95-96).

É neste contexto que na actualidade vemos os ateliers de cenários darem lugar a pequenas salas informatizadas; os estúdios de Televisão reduziram o seu espaço, estrutura física e pessoal; a maquinaria e cenoténica responsáveis pela construção e instalação do cenário são substituídas, e aos poucos os *softwares* 3D eliminam a utilização de materiais como a madeira, a esferovite e o papel de cenário. Técnicos informáticos fazem desaparecer marceneiros, pintores e aderecistas e os cenógrafos vêem o seu papel ocupado pelos profissionais que anteriormente eram responsáveis pela criação da imagem gráfica das estações televisivas (Dias 2007b).

O próprio conceito de cenografia foi posto em causa ao serem introduzidas alterações tão profundas ao método de produção cenográfico. A partir do momento em que os cenários tradicionais são substituídos pelos cenários digitais e surgem situações tão complexas como actores, jornalistas e apresentadores a interagirem com objectos virtuais em programas de transmissão

em tempo-real, foi preciso redefinir os conceitos cenográficos. Passava-se agora para um campo onde se estava a projectar para iludir o telespectador na distinção entre o real e o artificial (ver Fig. 38).



Fig. 38a/38b/38c/38d - Algumas das primeiras imagens promocionais da aplicação de cenários virtuais da ORAD, RT-set (Vi[z]rt) e da Brainstorm (Shakespeare 2005).

Contudo, apesar de tão drástica mudança, pudemos contatar que a introdução das novas tecnologias para criar ambientes gráficos estilizados na realidade televisiva, nasceu da experimentação e adaptação de métodos de criação e produção já estabelecidos no teatro e no cinema. Se as alterações no panorama audiovisual foram de carácter fundamental, quer no que respeito à componente técnica, como da própria linguagem da CV, por outro lado haviam sido criados estilos e meios tecnológicos para cada uma das categorias, cinema em primeiro lugar, a seguir televisão, o vídeo e por último a *internet*. Com a chegada da era do digital e da CV, estas diferenças esbateram-se, e os métodos passaram a ser acessíveis a todas as categorias (Vita 2008, p.155).

O momento histórico que levou ao início de um processo de fusão entre a Televisão e a Realidade Virtual poderá ter começado no instante em que as primeiras experiências da técnica do *chroma-key* foram aplicadas como base para a aplicação de Cenários Virtuais em programas televisivos. As primeiras

experiências na técnica iniciaram-se em finais dos anos 80, princípio dos anos 90 e rapidamente a máquina televisiva se apercebeu do seu potencial não só a nível criativo, mas sobretudo a nível de economia de tempo, espaço e dinheiro.

A empresa Brainstorm fundada em 1993, representa um marco na evolução da Cenografia Virtual no meio audiovisual, não só pelas suas contribuições a nível do *software* adaptado às necessidades da tecnologia, mas também pelo *hardware* desenvolvido para trabalhar com sistemas adaptados à técnica. Surge inicialmente como uma companhia de serviços que projecta grafismos para programas de meteorologia, mas rapidamente a falta de *software* adaptado e as limitações do *hardware* levam esta empresa a desenvolver *software* aberto²⁴, para que os seus clientes participassem activamente no seu enriquecimento (*Brainstorm Multimedia*, © 2007 Brainstorm Multimedia S.L.).



Fig. 39 - Brainstorm, fundada em 1993 (*Brainstorm Multimedia*, © 2007 Brainstorm Multimedia S.L.).

Antes de 1993, a Brainstorm desenvolveu as bases para a criação de programas de modelação 3D, iluminação, *rendering* e comportamento de objectos de acordo com as leis da física. Em 1993, iniciaram-se os primeiros testes em estudos para aplicação de cenários virtuais, utilizando uma *workstation Silicon Graphics Indigo* para a visualização de modelos em tempo-real. A 24 de Novembro de 1994, inicia-se a primeira utilização profissional do sistema através do

²⁴ *Software* aberto ou *Open tool* é um programa ou ferramenta que realiza uma tarefa específica. Neste tipo de *software* o código fonte é publicado abertamente e o seu conteúdo original pode ser modificado. As ferramentas *open source* são tipicamente criadas pelo esforço conjunto de diversos programadores, que melhoram continuamente o código partilhando os resultados com a comunidade.

Brainstorm eStudio na Antena 3TV, com um programa diário do Boletim Meteorológico (*Brainstorm Multimedia*, © 2007 Brainstorm Multimedia S.L.).

A Antena 3TV, utilizou este programa de 1994 a 1996. Neste sistema de cenografia chamado “Virtual em Tempo-real” as imagens de síntese tridimensionais respondiam a um modelo matemático criado à escala para se adaptar à coreografia da apresentadora, à iluminação real, ao espaço disponível em estúdio, às câmaras utilizadas e também às limitações de cálculo dos processadores que geravam as imagens. Na altura a apresentação foto-realista integrava a apresentadora num cenário muito diferente do que os espectadores estavam habituados. A criação 3D permitia a inclusão de colunas, janelas e mapas/quadros de tempo que apareciam do nada. O sistema necessitava de 20 segundos para iniciar o *render* em tempo-real das imagens (ver Fig.40). No resultado final o globo era visualizado em rotação em directo, enquanto a apresentadora explicava dados gerais até que o computador iniciasse a geração de imagens da apresentação meteorológica propriamente dita. A evolução tecnológica do *software* e do *hardware* acabou por superar essa diferença de tempo, hoje em dia o desfazamento entre a imagem real e a gerada é muito pequeno (Vita 2008, pp.205-208).



Fig. 40 - Boletim Meteorológico emitido em 1996 pela Antena 3TV, onde se observa um cenário com recurso a grafismos virtuais (Vita 2008, pp.205-207).

De facto, a Brainstorm de 1995 a 1997, continuou a trabalhar com sucesso no desenvolvimento do seu *software* tornando-o também mais fácil de utilizar, introduzindo editores de texto, partículas, primitivas, etc. No início de 1998,

o programa Brainstorm eStudio é mencionado numa publicação científica de Simon Gibs da *Sony Distributed Systems Laboratory*, no artigo “*Virtual Studios*”, e é considerado como um sistema completo para aplicação em estúdio. Entre 1999 e 2000, o sistema passa a funcionar em Linux e Windows, correndo em PC's. Estes resultados deveram-se ao desenvolvimento de uma plataforma múltipla em tempo-real, baseada na linguagem Open GL e que veio substituir o SGI Perform. Em 2001, o Brainstorm eStudio é utilizado para a pré-visualização dos ambientes virtuais no processo de pré-produção no filme de Steven Spielberg *Artificial Intelligence* e em 2004 é utilizado na pré-visualização dos FX para o filme *I Robot*. Actualmente os seus sistemas são utilizados no mundo inteiro por muitas emissoras, continuando activamente a desenvolver gráficos 3D e tecnologia associada, trabalhando com empresas tão conceituadas como a BBC e a CNBC (*Brainstorm Multimedia*, © 2007 Brainstorm Multimedia S.L.).

Continuando a fazer progressivos *upgrades* aos seus sistemas, a empresa está actualmente a trabalhar com as últimas placas de vídeo da NVIDIA no sentido de desenvolver novas plataformas cada vez mais potentes. Continua a ser a empresa cujo *software* foi melhor desenvolvido, permitindo actualmente utilizar diversas técnicas de modelação que ainda não se encontram disponíveis através do *software* de outras empresas.

Paralelamente, em 1995 a empresa ORAD, apresenta os primeiros estúdios com uma tecnologia desenvolvida e devidamente preparada para a utilização no meio audiovisual. Mais de uma década depois, a base tecnológica apresentada é a mesma que se utiliza nos nossos dias (Cubillo 2008, pp.31-42). Considerada essencial no desenvolvimento da tecnologia, desta feita à escala mundial, a empresa israelita ORAD, tem a reputação de se encontrar na vanguarda da tecnologia, fornecendo aos seus clientes algoritmos para processamento em tempo-real, motores de *render* poderosos, tecnologia de *tracking* sofisticada e *software* dirigido aos diferentes sectores da indústria televisiva, do desporto e da publicidade (*ORAD: Mastering VideoGraphics*, 2010a). Em poucos anos esta empresa tornou-se numa referência a seguir por outras empresas na área da

concepção de sistemas para estúdios virtuais, comentários desportivos e publicidade virtual.

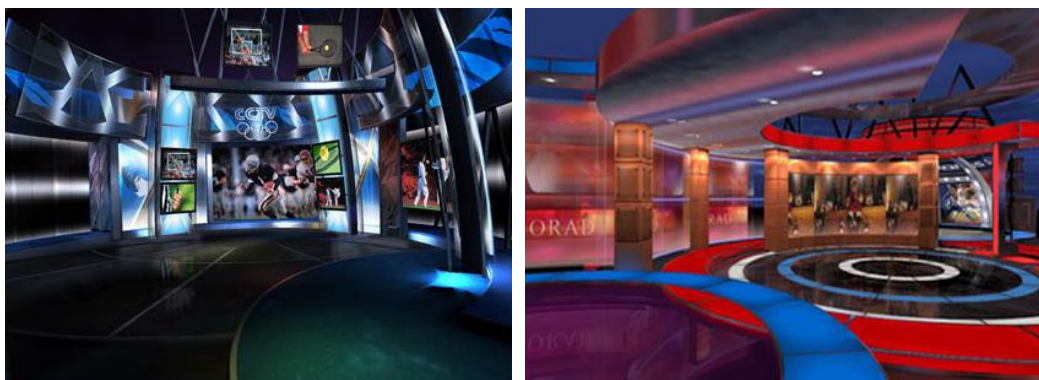


Fig. 41a/41b - Cenários virtuais concebidos através de software da ORAD (ORAD: *Mastering VideoGraphics*, 2010a).

Em 2000 a ORAD ganhou um óscar por “*outstanding achievement in real time virtual imaging for live event television*” e expandiu-se de tal forma que conta hoje com uma rede de suporte e vendas com escritórios nos E.U.A., Brasil, França, Alemanha, Espanha, Sérvia, U.K., Israel, HongKong e China. Em Portugal a empresa é representada pela VANTeC. As mais de 1000 instalações fazem desta empresa a maior fornecedora de material para estúdios virtuais, oferecendo um alargado leque de soluções para as diferentes necessidades das produções e do orçamento disponível por cada empresa. Os seus sistemas incluem soluções com todos os elementos necessários ao funcionamento de um estúdio virtual até o produto final ser transmitido (ORAD: *Mastering VideoGraphics*, 2010a).



Fig. 42a/42b - Grafismos e elementos 3D inseridos no cenário com recurso a software da ORAD (ORAD: *Mastering VideoGraphics*, 2010a).

Um dos seus maiores feitos foi ter desenvolvido uma das peças essenciais ao funcionamento de um estúdio virtual, a tecnologia de *tracking* que permite a perfeita sincronização da câmara real com a câmara virtual. Os seus sistemas possuem ainda a possibilidade de no mesmo sistema se juntarem cenários virtuais, grafismos e de estes serem integrados numa *newsroom*. Entre os produtos disponibilizados pela ORAD estão o sistema ProSet que junta num único sistema o cenário virtual e os grafismos *on-air* 3D, o 3DPlay solução para *branding*²⁵ e o 3Designer que insere para além do cenário 3D, logos, *tickers* de acções, textos que se enrolam, anúncios de próximas atracções, etc. O sistema Trackvision, outro dos seus produtos, está vocacionado directamente para o desporto possibilitando uma grande riqueza de recursos em transmissões de futebol . Com ele pode-se inserir os círculos de distância da barreira, as linhas de fora de jogo, calcular a velocidade da bola e a distância de um jogador ao golo, tudo em tempo-real e com *chroma-key* interno. O *Trackvision* tem a vantagem de não precisar de estar nos estádios, pois trabalha apenas com o sinal já produzido, recebido no estúdio. Acima de tudo pudemos constatar na nossa investigação que esta empresa tem como objectivo principal fornecer sistemas que sejam extremamente simples de compreender e utilizar pelo operador final. Da mesma forma que ofereçam estabilidade e fiabilidade numa base diária.



Fig. 43 - O HDVG é a plataforma da Orad para o *rendering* em tempo-real de vídeo com gráficos 3D. A sua capacidade de processamento possibilita o uso em sistemas de HDTV, simulação 3D para Engenharia e produção de Cinema Digital (ORAD: *Mastering VideoGraphics*, 2010a)

²⁵ Termo utilizado para se referir à identidade visual de um canal, através da inserção de elementos gráficos

A passagem de SD para HD foi rapidamente adoptada pela ORAD ao proporcionar diverso *software* para a realização de gráficos em alta definição, suportando todo o tipo de formatos HD, inserções HD múltiplas no cenário e ainda a possibilidade de misturar fontes em SD e HD. A ORAD está inclusive a preparar o salto para a televisão em 3D, tendo já sido efectuadas emissões desportivas com esta tecnologia. Os seus sistemas são utilizados por diversos canais de televisão em Portugal, a RTP, a SIC e a TVI (em menor escala) utilizam sistemas desenvolvidos pela ORAD.

Duas outras grandes empresas destacaram-se pelos seus desenvolvimentos em *hardware* e *software* para cenografia virtual, a Ultimatte e a Vizrt. A Ultimatte Corporation, foi fundada em 1976 por Petro Vlahos, pioneiro em Hollywood em efeitos especiais e criador do processo de diferenciação de imagem pela cor, com utilização de um fundo azul. Como já foi referido ganhou vários prémios (*emmys* e *óscares*) pelas suas inovações. A sua empresa tem continuado a desenvolver diversos programas por forma a aperfeiçoar os seus métodos. Os seus produtos são sobretudo utilizados nos meios cinematográficos para a composição de FX, mas também são utilizados por diversas emissoras televisivas. Os seus programas primam pela sua capacidade de compor imagens sem falhas, que contenham itens tais como pormenores de cabelo, água, sombras, névoa e fumo, vidro e reflexos (ver Fig. 44) (*Ultimatte Corporation*, © 2010 Ultimatte Corporation).



Fig. 44 - Imagem promocional da Ultimatte (*AdvantEdge brochure*, ©2007-2010 Ultimatte Corporation).

A Virzt, tal como a ORAD e a Brainstorm, é uma empresa líder a nível mundial de gráficos 3D para serem transmitidos em tempo-real em HD ou SD. O conjunto de *software* desta empresa oferece uma solução completa de gráficos incluindo: geração de caracteres, manuseamento de conteúdos e integração na sala de notícias, teletipos 3D, estúdio virtual, aplicações meteorológicas 3D com integração de dados, ferramentas para criação de dados, análise desportiva virtual e apresentação de informações com efeitos virtuais. Esta empresa procurou criar um *interface* para o utilizador facilmente adaptável aos diferentes tipos de formação, *designer*, jornalista, operador, engenheiro, etc. Os seus programas são utilizados por alguns dos principais órgãos difusores de notícias do mundo, tais como a CNN, CBS, FOX, ESPN, BBC, SKY, ITN, ZDF, STAR TV, TV TODAY, CCTV e NHK, também por empresas de produção e corporações, incluindo tanto as Bolsas de Valores de Nova York como a de Londres (Virzt, n.d.).



Fig. 45 - Um cenário com elementos reais e virtuais, com telas (*screens*) semi-transparentes, criadas com Viz Virtual Studio (Benchmark Broadcast Systems, Copyright © 2008-2010 Benchmark Broadcast Systems).

Entre os seus produtos está o Viz|Virtual Studio, que produz em tempo-real ambientes 3D gerados por computador com movimentos de câmara ilimitados (ver Fig. 45). São adequados a produções televisivas tanto na perspectiva criativa, como na perspectiva de economização de gastos. O Viz|Virtual Studio partilha de todas as vantagens da família de ferramentas básicas da Virzt, incluindo um potente motor de *render* o Viz|Engine, a ferramenta de desenho Viz|Artist, entre outras ferramentas como o Viz|Content Pilot e o Viz|IO. O

Viz| Virtual Studio é uma ferramenta de configuração que de uma maneira fácil permite uma conexão e um controlo entre todos os dispositivos do estúdio, tais como câmaras, *routers*, VTR'S, servidores de vídeo, misturadores de audio, entre outros. Estas ferramentas foram desenhadas para trabalhar juntas, facilitando a integração do sistema Virzt.

Outras empresas menos fortes foram surgindo e ganhando o seu espaço no mercado oferecendo o mesmo tipo de produtos (menos elaborados), especializando-se num ou noutra determinado aspecto da tecnologia, tornando-se assim mais competitivas em determinadas situações. Entre essas empresas encontram-se as empresas Darim e Hybrid, a primeira sediada originalmente nos EUA, tendo-se mais tarde expandido para a Europa e a segunda, a Hybrid, sediada em França, servindo sobretudo o mercado europeu, mas que se encontra desde o presente ano a servir também o mercado asiático (*Darim Broadcasting*, © Copyright 2010 Darim International Corp. & *Hybrid – production without limits*, © 1987 - 2010 Hybrid).

Numa outra vertente, a forte implantação da cenografia virtual manifestou-se também através do surgimento de empresas dedicadas à produção de cenários virtuais prontos a utilizar, inclusive *online* e para *download* imediato, e por preços muito acessíveis. Os cenários visam o mercado de Broadcasting televisivo, mas servem também à gravação de documentários, cinema, notícias por cabo locais, séries, etc.

Entre essas empresas encontram-se a *VirtualSetworks* já com longa experiência, fornecendo diferentes tipos de cenários para *rendering* em tempo-real ou para pós-produção. Sendo necessário, alugam o material necessário para as gravações com *green/bluescreen*, incluindo as câmaras e o *chroma-keyer*. Os diferentes tipos de cenários adaptam-se a diversas plataformas e podem ser cenários virtuais, imagens CGI estáticas, animações CGI ou mesmo vídeos captados por câmara (ver Fig. 46).



Fig. 46a/46b - A VirtualSetworks tem uma variedade de Cenários Virtuais que a torna uma das empresas mais competitivas. Estes cenários estão à venda por uma determinada verba, contudo, aquando da compra são apenas fornecidas imagens 2D do cenário e não o projecto tridimensional em si, limitando as possibilidades de realização (*Virtual setworks*, © Virtualsetworks NV LLC 2009)

A empresa *LiteSets.net* especializou-se na concepção de cenários virtuais mais leves para o *rendering*. Estes apenas criam a ilusão de que as pessoas estão num outro lugar, mas na realidade são imagens paradas. Este tipo de cenários (*digital backdrops*), têm a vantagem de exigirem menos do *hardware* para a sua utilização, tornando-a uma solução mais acessível para orçamentos reduzidos.

A empresa *CG4TV.com*, Computer Graphics for TeleVision, tem os seus produtos prontos para *download* directo, evitando assim a espera do cliente após a encomenda de determinado cenário. Na realidade esta marca pertence à empresa *E-spaces*, tendo sido incorporada em 1996, foi uma das primeiras empresas a desenvolver gráficos 3D interactivos e aplicações da realidade virtual, sendo especialistas em modelação 3D. Produzem cenários e vídeos foto-realistas, simuladores educativos interactivos em 3D, imagens paradas 3D, mundos virtuais 3D online, publicidade com animações 3D, visualizações científicas e tecnológicas, documentários, etc (ver Fig. 47). Os seus clientes incluem marcas como a Intel, Gillette, British Petroleum (BP) e a Adobe; canais de televisão como a HBO, Fox, Discovery Channel and Fox News; estúdios de cinema como a 20th Century Fox;

entre muitas outras organizações e companhias como a NASA, PBS, Ericsson (Business Systems), the European Commission, Mitsubishi, etc. O tipo de trabalhos que realiza abrangem, filmes, notícias, eventos desportivos, programas de entretenimento, séries, programas de meteorologia entre outros.



Fig. 47a/47b - Cenário Virtual comercializado pela CG4TV em SD (73 €) e em HD (110 €) (CG4TV.com: *Royalty Free Virtual Set Library*, © 2010 CG4TV).

No caso da EUVE, European Virtual Engineering, um centro especializado em Realidade Virtual, Engenharia Virtual, Sistemas de Meteorologia e Informação, treino e suporte para “Making Decisions”, a empresa para além de comercializar cenários virtuais tem participado activamente no seu desenvolvimento. Surgiu inicialmente como uma fundação com o objectivo de produzir conhecimento e proporcioná-lo às empresas, de forma a que estas pudessem melhorar os seus produtos, serviços e imagem, tornando-as mais competitivas. Fundada em 1999, o seu objectivo estratégico permite-lhe criar aplicações e serviços de alta qualidade e ao mesmo tempo manter-se focada na investigação e na descoberta das necessidades dos novos mercados. As suas investigações abrangem 3 linhas de trabalho diferentes, inteligência artificial, CG interactiva e RV. No que respeito aos seus desenvolvimentos a nível da televisão a EUVE para além de realizar cenários virtuais procura encontrar soluções para estações televisivas, instituições e companhias que procurem modificar a sua imagem audiovisual através de CGI. Este trabalho é desenvolvido em equipa por animadores 3D, cenógrafos, engenheiros, realizadores e programadores.

1.1 IMPLANTAÇÃO DA CENOGRAFIA VIRTUAL EM PORTUGAL

As estações televisivas, neste caso os três principais canais a operar em Portugal, RTP, SIC e TVI são os principais utilizadores desta nova tecnologia com uma periodicidade regular.



Fig. 48a/48b – Cenografia virtual realizada para o programa da RTP a “Grande Entrevista” (/ *Informação*, 2009 & *Rio das Maças*, 2009).

Inicialmente a RTP começou por adquirir *software* de animação para a introdução e desenvolvimento de vários tipos de grafismos, a serem utilizados diariamente pelos vários canais da estação televisiva, nomeadamente RTP África e RTP Internacional. Só em Abril de 2007 é que a RTP adquire um sistema de 3D On-Air Graphics e de cenografia virtual ORAD Pro-set, com um sistema de *tracking* de câmara em tempo-real por infra-vermelhos Xync, dedicando um estúdio à utilização exclusiva da técnica. O sistema baseia-se em 4 canais independentes de câmara, incluindo um SDVG (plataforma da ORAD de vídeo e gráficos em tempo-real) e um *chroma-keyer* por câmara. Segundo a entidade, a escolha baseou-se na excelente relação preço/*performance* da solução, flexibilidade, completa independência e total liberdade de movimentos de câmara. Apesar do sistema ser compatível com o *software* de modelação e animação 3D da Autodesk, a estação optou por realizar os seus projectos com o *software open source* Blender. Os programas que beneficiaram da sua utilização incluíram programas em *prime time* de notícias e programas de entrevistas (ver Fig. 48) (VANTeC - *Tecnologias de*

Informação | *Sistemas de Informação*, 2007b). Recentemente (2010), a RTP inaugurou no Porto um novo estúdio virtual, também com tecnologia da ORAD, mas desta feita mais actual que a aplicada nas instalações de Lisboa.

Também o canal SIC optou por se iniciar na tecnologia, pela integração e formação de vários postos de trabalho com *software* de animação 3D Maya, e pela compra do sistema de geração de mapas *Curious Maps*, com o objectivo de desenvolver grafismos para serem utilizados diariamente. Este tipo de trabalho foi desenvolvido desde 2000 mas excluía as emissões ao vivo. A partir de Setembro de 2004 a SIC tal como a RTP entra novamente em negociações com a VANTeC, empresa representante da ORAD em Portugal, no sentido de implementarem um projecto de cenografia virtual de raiz, de forma a corresponder aos interesses da estação televisiva e aos seus objectivos de produção:

*[c]om o objectivo de tornar mais dinâmica a informação, a estação decidiu proceder a uma reformulação completa do estúdio, incluindo a componente tecnológica em Novembro de 2007. Deste processo fez parte um upgrade total da tecnologia de cenografia virtual para ORAD ProSet. O novo sistema topo de gama da ORAD, para além de possibilitar cenografia virtual em tempo-real, permite também gerar gráficos 3D no interior do estúdio, integrados com total liberdade de movimento de câmara (VANTeC - Tecnologias de Informação | *Sistemas de Informação*, 2006a).*



Fig. 49a/49b/49c/49d – Imagens onde se observam as cenografias virtuais criadas para diferentes programas da SIC com o sistema da ORAD Pro-set (*bloomgraphics*, n.d.).

Este projecto vem a efectuar-se entre 2006 e 2007, tendo para isso sido adquiridos os Sistemas CyberSet baseados nas mais avançadas plataformas gráficas ORAD DVG, para a produção dos cenários virtuais 3D em tempo-real. Estes permitiram logo de início um volume de produção directo com capacidade para atingir as 18 horas diárias de emissão (ver Fig.49). No estúdio foram instaladas 4 câmaras com total liberdade de movimentos, incluindo uma grua e uma câmara com a possibilidade de se tornar portátil. Quanto aos *softwares* escolhidos para trabalhar na modelação foram o 3dsMax e o Maya da Autodesk.

A TVI foi a última das estações a fazer uma reestruturação significativa dos seus sistemas, para um sistema de cenografia virtual. Com o advento dos canais de notícias como responsável pelo impulso dado a esta estação, a abertura do canal Tvi24 motivou a compra de um sistema de *tracking* da Thoma e de tecnologia e *software* da Virzt para iniciar as suas emissões diárias com este tipo de cenários. Complementarmente, a TVI continua a utilizar o sistema adquirido em 2006, *3D-on-air-Graphics* da ORAD e *Cybergraphics Reality*, com a integração de um sistema de *tracking* para uma câmara.

A produção de vídeo com o auxílio das técnicas de Cenografia Virtual é também praticada por diversas empresas na realização de *spots* publicitários para Televisão e cinema, *videoclips*, novelas e fitas de fundo, entre outros programas com trabalho de montagem em pós-produção. São também produzidos gráficos para eventos desportivos, informação, eleições e outros eventos. Entre essas empresas encontram-se a BIKINI, CINEMATE, DAIBERT FILMES, FILLBOX, FX-PÓS PRODUÇÃO, LINHA DE TERRA, MANDALA e a WTVISION que utilizam geralmente sistemas de produção mais acessíveis, mas o facto de trabalharem num sistema de pós-produção permite-lhes aproveitarem as vantagens e potencialidades criativas que não são possíveis de trabalhar em tempo-real.

A VANTEC – Tecnologias de Vanguarda Sistemas de Informação, S.A. foi fundada em 1991 por quadros experimentados nas áreas de informática e de gestão empresarial. Esta empresa tem sido primordial na implantação de todos os sistemas de Cenografia Virtual que encontramos em Portugal, sendo o mais

importante integrador português de soluções de gráficos em tempo-real, cenografia virtual e sistemas de *tracking* de câmara e humano do mercado nacional, desenhando soluções à medida das necessidades de cada empresa. Tendo iniciado a sua actividade pela comercialização de soluções de tratamento de imagem e computação gráfica, foi gradualmente desenvolvendo o seu *know-how* e crescendo quer em número de representações quer com a diversificação das soluções e serviços especializados que disponibiliza. Em 1996 estabeleceu uma parceria com a ORAD Hi-Tec Systems, que é hoje o seu mais importante parceiro tecnológico.

A VANTeC oferece várias soluções de *motion tracking* bem como de *software* profissional de tratamento de imagem, animação 3D e Design Industrial, trabalhando directamente com a Autodesk Media & Entertainment para Portugal. O tipo de trabalho que desenvolvem com as empresas inclui as seguintes categorias: assessoria pré-venda, desenho de projecto e implementação, instalação e integração de sistemas, formação, suporte e assessoria pós-venda. Esta empresa comercializa um conjunto alargado de produtos e serviços para as seguintes Áreas de Mercado: TV/Broadcast, Produção de Vídeo, Multimédia, Arquitectura, Indústria, Institucional, Investigação e Educação.

1.2 INVESTIGAÇÃO E ENSINO DA CENOGRAFIA VIRTUAL EM PORTUGAL

No âmbito da investigação e ensino, podemos encontrar a integração de diversos tipos de soluções para o estudo da Cenografia Virtual: laboratórios 3D com *workstations* SGI para projectos de Realidade Virtual, equipamentos de projecção e de visualização de imagem estereoscópica, sistemas de *Motion Capture* para aquisição de movimento em tempo-real, sistemas para desenvolvimento, modelação e visualização de equipamentos e o desenvolvimento de servidores de alta capacidade para cálculo intensivo nas áreas de simulação e visualização em tempo-real. Entre as instituições interessadas no estudo,

desenvolvimento e ensino das Realidades virtuais encontramos a Escola Superior de Comunicação Social, a Escola Superior de Teatro e Cinema, a Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, a Universidade do Minho, o Instituto Superior Miguel Torga, o IBMC – Instituto de Biologia Molecular e Celular, o IDITE Minho, o Centro de Computação Gráfica, INDI – Investigação e Design e Introsys.

A Escola Superior de Comunicação Social começou a interessar-se pela cenografia virtual, durante a visita, que elementos ligados à área do audiovisual realizaram, em 1998, à Feira do Audiovisual e do Broadcasting de Amesterdão. Nessa altura começava a falar-se na aplicação dos ambientes virtuais na área do audiovisual. Em 1999 realizou-se na escola uma semana dedicada à televisão virtual com o objectivo de divulgar esta tecnologia, através de uma conferência acompanhada por uma exposição das várias marcas que comercializavam equipamentos para estúdios. Neste momento a escola possui um estúdio de cenografia virtual, que está a ser utilizado por alunos do curso de Audiovisual e Multimédia tendo sido também utilizado pelos alunos da Escola Superior de Teatro e Cinema (ver Fig. 50) (Silveiro 2006).



Fig. 50a/50b - Gravação efectuada no Estúdio Virtual da Escola Superior de Comunicação Social (Silveiro 2006).

Na Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias (ULHT) a formação em Cenografia virtual está integrada no curso de Sistemas de Comunicação Multimédia. Segundo a instituição (ULHT), este curso está especificamente vocacionado para a elaboração de trabalho de investigação e formação avançada na área dos sistemas de comunicação multimédia e integra simultaneamente mais valias teóricas e experimentais de outras áreas científicas, nomeadamente dos estudos artísticos e das tecnologias da informação

(Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, 2009). A instituição procedeu à instalação e integração no estúdio de vídeo da universidade de um sistema de Cenografia Virtual da ORAD-Cyberset, bem como dos laboratórios de imagem com *software* Alias Maya e Discreet Combustion através da empresa VANTeC. Paralelamente, surge o MovLab como uma das infra-estruturas do CICANT (Centre for Research in Applied Communication, Culture and New Technologies) e da ULHT, para o desenvolvimento de intervenções nas áreas do audiovisual, multimédia e tecnologias interactivas, nomeadamente no que se refere às áreas de animação e modelação 2d e 3d, aquisição e análise de movimento humano, cenografia e realidade virtual, cinematografia digital, televisão e vídeo interactivos. Este laboratório começou por se dedicar a duas áreas essenciais, a indústria de entretenimento (televisão, cinema e multimédia) onde explora o universo criativo a três dimensões; e a Biomecânica do Movimento Humano desenvolvendo projectos de análise cinemática, de análise das forças reactivas do apoio e de análise da dinâmica por conjugação das anteriores (ver Fig. 51).



Fig. 51a/51b/51c/51d - a) e b) Imagens captadas no estúdio virtual da ULHT; c) e d) experiências em *motion-capture* levadas a cabo pelo MovLab (a) e b) imagens fornecidas por Filipe Costa Luz da ULHT & c) e d) *Movlab*, © 2010 *Movlab* - Laboratório de Tecnologias de Interação e Interfaces).

Na Universidade do Minho foram instalados laboratórios de 3D compostos por *workstations* e *software* Alias Maya para formação dos alunos bem como *workstations* SGI para projectos de RV. Segundo a instituição, Especialidade em Computação Gráfica tem por objectivo formar indivíduos com conhecimentos sólidos de base e competências avançadas em Computação Gráfica. São objectivos saber avaliar/conceber soluções e desenvolver *software* aplicacional tendo por base técnicas de Computação Gráfica e de Realidade Virtual. Este curso visa preparar profissionais em áreas emergentes como: jogos para computador e *e-edutainment*, arqueologia e herança cultural, arquitectura, visualização científica, animação e FX, cenografia virtual, cartografia e navegação geo-referenciada, simulação, treino e assistência em tarefas complexas e/ou de risco, etc (*Universidade do Minho*, 2009).

O Instituto Superior Miguel Torga, considera que a Indústria dos conteúdos é a indústria do século XXI e foca a necessidade de formar técnicos que correspondam a este novo perfil de competências. Para tal criou a Licenciatura em Multimédia, onde os alunos aprendem entre diversas outras competências a dominar as técnicas de cenografia virtual e animação e a aplicá-las (*Instituto Superior Miguel Torga*, 2009).

No Centro de Computação Gráfica trabalham com *Workstations* SGI e *software* 3D Maya para projectos de desenvolvimento e investigação em simulação, visualização e RV. No IBMC – Instituto de Biologia Molecular e Celular utilizam-se também equipamentos SGI, servidores e *workstations* e equipamentos de projecção e de visualização de imagem estereoscópica. A IDITE MINHO trabalha com *Workstations* SGI e *software* 3D Maya em projectos de desenvolvimento e investigação em simulação, visualização e RV, mas também explora as potencialidades de um sistema de Motion Capture para aquisição de movimento em tempo-real da Kaydara. A INTROSYS utiliza um servidor SGI Origin de alta capacidade para cálculo intensivo, *software* 3D Maya e *workstations* para projectos de desenvolvimento nas áreas de simulação e visualização em tempo-real (*VANTeC - Tecnologias de Informação | Sistemas de Informação*, © 2010 | Todos os direitos reservados a VANTeC, S.A.)

Capítulo II O funcionamento da Cenografia Virtual no meio audiovisual

A técnica de *blue/greenscreen* tornou-se nos últimos anos uma presença constante na realização de determinados programas nos estúdios televisivos, tais como os blocos noticiários e programas de informação meteorológica. Inicialmente no estúdio televisivo, o apresentador era filmado contra um fundo azul pela câmara, sendo o *background* azul substituído por um vídeo ou uma imagem digital na maior parte das vezes parada. Esta tecnologia não permitia contudo que se fizessem movimentos com a câmara de *zoom*, *pan* ou *tilt*. Contudo, o resultado da imagem compósita transmitia uma sensação de encadeamento espacial entre o *foreground* e o *background*. Qualquer tipo de alteração nas duas imagens fazia com que a referência espacial se perdesse e a perspectiva *foreground-background* deixasse de estar correcta (Rotthaler 1996).

No sentido de ultrapassar as desvantagens da aplicação tradicional desta tecnologia tornou-se necessário desenvolver um método que permitisse que as duas perspectivas se entrosassem espacialmente. Tal veio a conseguir-se pela determinação exacta dos parâmetros de posição da câmara de realização e também das modificações ao nível da lente (*zoom* e foco) - o *tracking*.

O diagrama 1, exemplifica simplificadaamente os princípios de realização de um programa de TV num estúdio virtual. O apresentador colocado no estúdio praticamente vazio, geralmente na forma de U ou L com um fundo azul ou verde, é filmado fisicamente pela câmara de realização enquanto as imagens de *background* (cenários, decorações, adereços, etc), a maior parte modelada em 3D, são inseridas através de composição digital da imagem. O modelo virtual é projectado numa fase anterior por um *designer/cenógrafo* e introduzido durante a transmissão ou gravação do programa. As imagens sintéticas são produzidas de acordo com a realização dos movimentos de uma câmara virtual. Para que as duas imagens se possam compor digitalmente tornando indetectável a sua mistura, ambas as cenas real e virtual devem manter a mesma perspectiva espacial de forma simultânea.

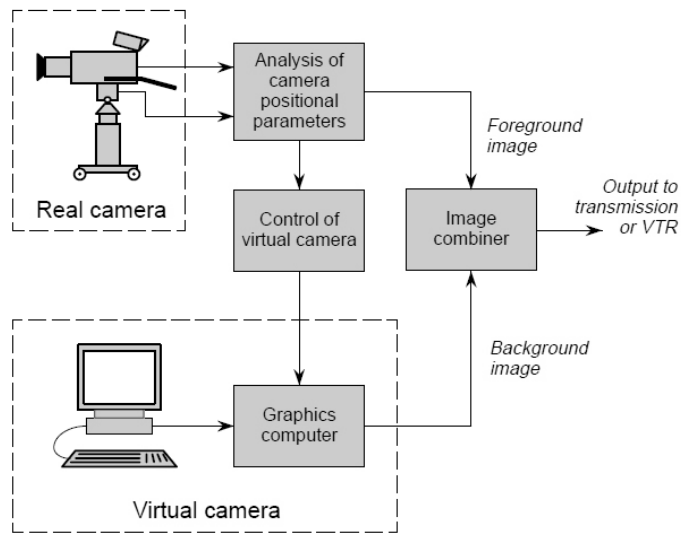


Diagrama 1 – Esquema básico do funcionamento de um estúdio virtual (Rotthaler 1996).

A evolução fundamental na técnica de *blue/greenscreen* surgiu no momento em que se tornou possível em tempo-real a determinação dos parâmetros de posição: coordenadas *x*, *y*, *z* dentro do estúdio com *blue/greenscreen*, os dados dos movimentos de *tilt* e *pan*, *rolls* da câmara, distância focal e colocação focal da mesma. Os parâmetros de posição da câmara real, ao serem analisados pelo computador calculam os dados a aplicar para a realização das imagens de *background* virtuais, que serão inseridas na imagem compósita com o *foreground* real (Rotthaler 1996).

2.1 ESTÚDIO VIRTUAL DE TV

Um estúdio virtual destaca-se dos estúdios tradicionais por ter em toda a sua envolvência um ciclorama de cor uniforme em forma de U ou L. As cores verde e azul são as mais comuns mas podem ser aplicadas outras tonalidades. Os cantos do estúdio são arredondados evitando-se assim a projecção de sombras. A imagem captada deste ciclorama é substituída através de um programa de *software* pelo cenário virtual. A cor deve ser muito sólida, por forma a que o contraste com a figura humana e objectos reais seja o mais definido

e identificável possível. A cor mais utilizada na televisão é o verde, por ser a que tem mais luminância. Reflete melhor a luz o que permite uma melhor resposta na captação da imagem por parte das câmaras (Silveiro 2006, p.41). No cinema é utilizado com mais frequência o *bluescreen* pois este permite obter cambiantes de luz mais diversas e o problema com o spill (ver D.11) do *foreground* é menos notado.



Fig. 52a/52b - Estúdio Virtual da RTP em Lisboa, equipado com um sistema de Cenografia Virtual da Orad. À dir. podemos ver suspensas na grelha superior do estúdio, câmaras especiais que procedem à monitorização da posição das câmaras de realização (fotografias realizadas por Paulo Gonçalves, 2008).

Dentro dos estúdios pode existir um número de câmaras variável, montadas num tripé, pedestal ou manuseadas livremente pelo *cameraman*, geralmente em função dos tipos de programas e da forma como o realizador os vai realizar. Esse número varia também com o orçamento disponibilizado para a implementação do estúdio virtual uma vez que material específico tem sempre de ser adquirido. Estas câmaras móveis ou fixas poderão estar equipadas com sensores de posição, dependendo da tecnologia de *tracking* utilizada. Podem ainda estar suspensas na grelha superior do estúdio outro tipo de câmaras, que procedem à monitorização da posição das câmaras de realização (ver Fig. 52).



Fig. 53a/53b/53c/53d - Exemplos de diferentes tipos de cicloramas: a) ciclorama azul pintado com uma tinta uniforme; b) ciclorama feito de tecido cinzento retro-reflector; c) tecido verde cobrindo a totalidade das paredes do estúdio; d) pequena tela verde portátil (ORAD: *Mastering VideoGraphics*, 2007; Grau et al. 2003; *Perfect fit Post*, 8 de Fevereiro de 2010; ©1990-2010 Virtualsets.com).

2.2 ILUMINAÇÃO DO ESTÚDIO

O domínio das técnicas de iluminação é um dos factores de maior importância em Cenografia Virtual. Utilizam-se geralmente dois tipos de luz: a luz fria, cuja principal função é iluminar de forma homogénea o ciclorama, e que se faz através de projectores suspensos no tecto; e a luz quente, destinada a iluminar as pessoas que se encontram no estúdio e que é constituída pelos projectores que normalmente se utilizam nos estúdios (ver Fig. 54 e 55). Nos últimos anos, a utilização de um estúdio para a realização de programas com cenografias virtuais tornava-o exclusivo da técnica. Os métodos de calibração podiam ser quase exclusivamente manuais, o que fazia com que qualquer alteração física no estúdio ou ajuste na iluminação preparada (que tem de coincidir com a que é utilizada para iluminar virtualmente o cenário digital), obrigasse a recalcular todo o sistema (Silveiro 2006, p.42). Actualmente esses métodos tornaram-se mais rápidos permitindo alguma flexibilidade.



Fig. 54 - Iluminação “fria” do ciclorama do estúdio da RTP (fotografias realizadas por Paulo Gonçalves, 2008).

Em dependendo do efeito desejado pelo realizador, os elementos e personagens reais devem ser iluminados por pelo menos três tipos de luz, principal, preenchimento e recorte (Polainas 1998, pp. 87-88). Nestes estúdios é frequente utilizarem-se filtros difusores para equilibrar as tonalidades da luz reflectida pelos personagens e elementos reais com as tonalidades dos elementos concebidos artificialmente e aplica-se ao ciclorama um *set* de luz específico, utilizando luzes de enchimento com difusores azuis, verdes ou outra cor de acordo com a cor de *chroma* utilizada. A dimensão do estúdio acaba por se tornar também ela de grande importância, para que o recuo em relação ao ciclorama por parte das câmaras e personagens seja suficiente para se evitarem reflexões ou tonalidades de luz indesejadas.

À medida que a tecnologia se tem vindo a desenvolver e em virtude de que as adaptações se processem mais rapidamente, as diferentes empresas que equipam os estúdios televisivos vão fazendo as necessárias modificações aos sistemas tradicionais, simplificando-os através da robotização do *hardware* e respectivo controlo por *software*, tornando-o mais célere na sua utilização com cenários virtuais.



Fig. 55 - A luz “quente” é utilizada na iluminação dos personagens no estúdio (Vinten Radamec - Broadcast Robotics, © Vitec Group 2010).

2.3 TRACKING

Num estúdio virtual, a infalibilidade de um sistema de *tracking* torna-se de suma importância para o seu bom funcionamento. Actualmente os sistemas de *tracking* para cenografia principal, disponibilizam três principais formas de *tracking* das câmaras reais, através do *pattern recognition* (grelha) ou marcadores, por infra-vermelhos ou por sensores mecânicos. Existem outras técnicas em desenvolvimento ou mesmo aplicadas, mas estas são as que por ora são consideradas mais fiáveis para a realização e emissão de programas em tempo-real. Cada uma delas tem as suas vantagens e limitações próprias, cabendo às empresas adequar a sua aquisição em função das necessidades e orçamento disponíveis.

Todavia, a tendência é para que cada vez mais os estúdios tradicionais se possam transformar rapidamente em estúdios virtuais e vice-versa, sem que para isso seja necessário fazer um elevado investimento. Diversas empresas têm desenvolvido sistemas de *tracking* que podem ser implementados nas câmaras tradicionais (e.g. sensores mecânicos, *free-d*), tornando

desnecessária a compra de material mais dispendioso exclusivamente preparado para Cenografia Virtual. Novas centrais de controlo, *regies*, têm vindo a ser projectadas de forma a poderem trabalhar ao mesmo tempo com cenografias virtuais e reais, e diversos estúdios adoptaram a utilização de cicloramas amovíveis.

2.3.1. TRACKING – PATTERN RECOGNITION - MARCADORES



Fig. 56 - Marcadores de posição colocados nas paredes do ciclorama, a fim de permitirem o reconhecimento da posição do *foreground* para a realização das imagens de *background*. A quantidade de marcadores de posição a serem utilizados depende do nível de *zoom* a ser aplicado ao *foreground* durante a gravação (Hummelstrand 2006).

Os sistemas que utilizam a análise de imagem para reconhecer padrões ou marcadores são utilizadas regularmente tanto pela indústria televisiva como pela indústria cinematográfica. São aplicadas tiras de cor diferente da cor do ciclorama na forma de uma grelha ou então marcadores de posição. Estes são colocados nas paredes e por vezes também no chão e nos objectos reais dentro do estúdio. A análise da posição da grelha ou dos marcadores pelo sistema informático, permite calcular através da posição e ângulo de focagem da câmara real, a imagem digital a ser criada para criar a correcta ilusão de perspectiva e inserção do real no digital. Conseguem-se assim o sincronismo de posição e escala do cenário virtual com as personagens reais. Neste caso, deixam de ser necessários outro tipo de sensores e a câmara fica com a possibilidade de se

movimentar livremente dentro do estúdio, facilitando também a utilização de câmaras portáteis. Além disso, com este sistema não é necessário substituir o equipamento para se fazerem filmagens convencionais com cenários reais (ver Fig. 56).

No caso da utilização do sistema de *Pattern Recognition* da ORAD, para que seja possível, em tempo-real, manipular as câmaras e obter as perspectivas mais adequadas é necessário que estejam no mínimo visíveis 3 linhas verticais e 3 horizontais (ver Fig. 57). Se a grelha sair totalmente de campo, o cenário vai “saltar” do seu lugar e gerar um enorme erro. Esta desvantagem é suprida pelo facto do mesmo tornar possível o livre movimento da câmara e de ser um dos sistemas de *tracking* mais acessíveis. Este sistema é sobretudo utilizado por pequenas emissoras (ORAD: *Mastering VideoGraphics*, 2007) .

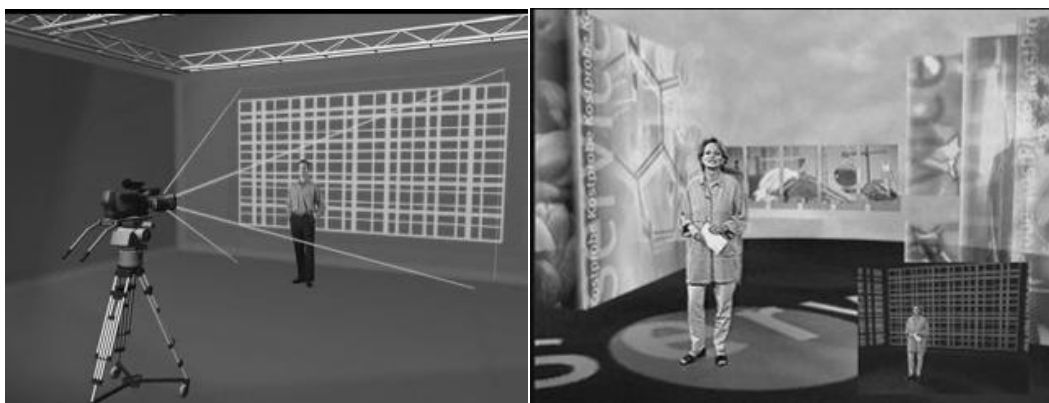


Fig. 57a/57b - Sistema de *Tracking* por *Pattern recognition* (grelha) da Orad (ORAD: *Mastering VideoGraphics*, 2007).

2.3.2 TRACKING POR INFRA-VERMELHOS

O *tracking* por infra-vermelhos permite que a câmara se movimente livre de qualquer tipo de apoio, e que se faça *zoom*, *pan*, *scale* e *focus*. É compatível com os sistemas de produção com várias câmaras e compatível com o sistema de processamento de imagens HD e SD. Este sistema é bastante utilizado devido às suas múltiplas vantagens apesar de ser mais dispendioso.

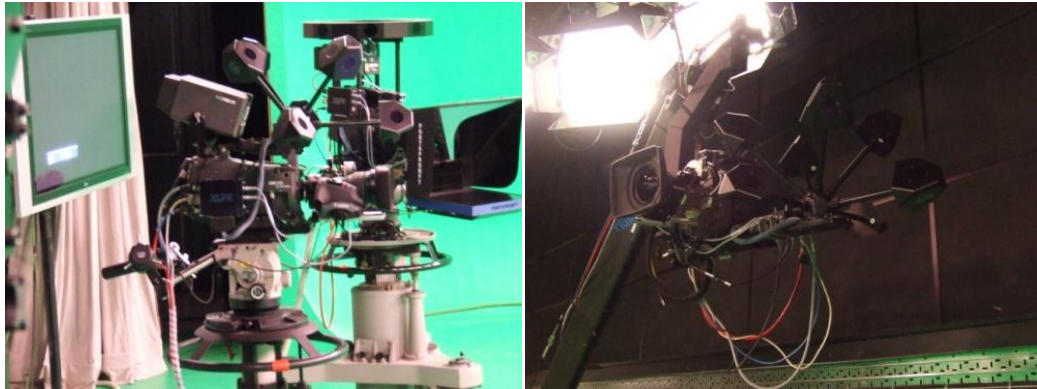


Fig. 58a/58b - Câmaras equipadas com sistema de *tracking* por infra-vermelhos da ORAD, na primeira imagem montada num pedestal e na segunda montada num braço mecânico (fotografias realizadas por Paulo Gonçalves no estúdio virtual da RTP em Lisboa, 2008).

O *tracking* processa-se através de duas câmaras penduradas sobre o estúdio, que seguem um pequeno *led* sobre a câmara real. A cada *led* de infra-vermelhos é dado um número ID, que corresponde a um ID específico de uma câmara no estúdio virtual. Uma vez calibrada, a posição das duas câmaras de vigilância, permite a identificação da posição do *led* por via da triangulação (ver Fig. 58 e 59). A informação é actualizada em tempo-real, permitindo um movimento totalmente livre por parte da câmara no estúdio real. Quantas mais câmaras de vigilância maior a precisão dos dados recolhidos (ORAD: *Mastering VideoGraphics*, 2007). Torna-se cada vez mais comum a utilização das câmaras necessárias para que a movimentação da câmara se possa fazer nos 360° do espaço do estúdio.

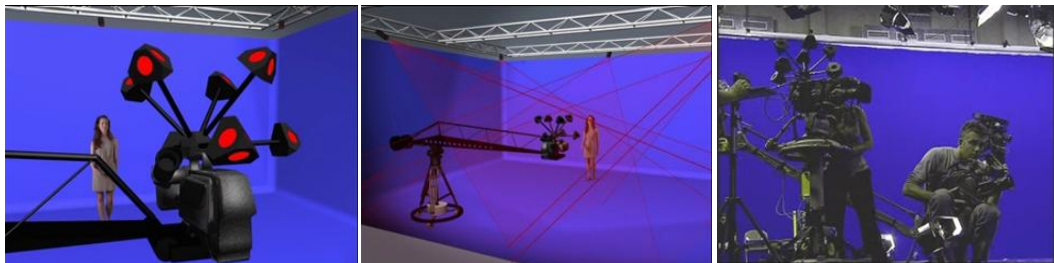


Fig. 59a/59b/59c - Sistema de *tracking* por infra-vermelhos da ORAD, as câmaras podem movimentar-se livremente ou ficar assentes num pedestal/tripé (ORAD: *Mastering VideoGraphics*, 2007).

2.3.3 TRACKING POR SENSORES MECÂNICOS

Apesar de apenas poder ser montado num pedestal ou tripé, o sensor mecânico oferece uma resposta de extrema precisão e alta resolução em realizações com câmaras fixas. Neste sistema, pequenas cabeças independentes providas de sensores, fixam os parâmetros de movimento (*pan* e *tilt*) da câmara, abrangendo os 360° de filmagem (ver Fig. 60). Codificadores ópticos retêm parâmetros em relação ao *zoom* e ao *focus* efectuados pela lente da câmara. No caso específico do sistema da ORAD, este utiliza o canal de áudio da câmara ou o protocolo RS-232 para enviar a informação de *tracking* da câmara para o sistema do estúdio virtual. Este tipo de *tracking* permite economizar na quantidade de cabos envolvidos numa ligação entre o estúdio real e a sala de controlo. A acuidade deste sistema permite 1 000 000 de leituras sobre os 360° de realização das filmagens. O sistema tem ainda a vantagem de permitir que se façam grandes planos e movimentos rápidos das câmaras (ORAD: *Mastering VideoGraphics*, 2007).

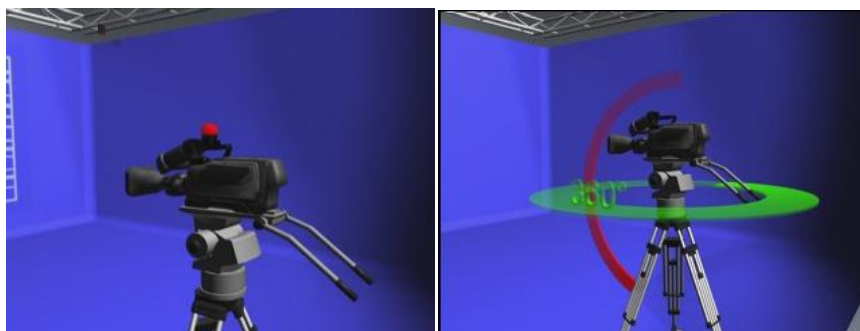


Fig. 60a/60b - Sistema de *tracking* por sensores mecânicos da Orad (ORAD: *Mastering VideoGraphics*, 2007).

2.3.4 NOVOS DESENVOLVIMENTOS NOS SISTEMAS DE TRACKING

Para além da empresa ORAD, nº1 no mercado da Cenografia Virtual a nível mundial, outras importantes empresas como a THOMA, F(x) MOTION e a Vinten Radamec têm vindo a desenvolver sistemas de *tracking*, garantindo novas características que as tornam extremamente competitivas.

A THOMA oferece diversos tipos de sistemas de *tracking* para estúdios virtuais, sendo uma das suas apostas desde o princípio de 2009, a produção de *kits* com sistemas de sensores para todo o tipo de *fluid heads*, com o objectivo de transformar o equipamento já existente em estúdio e fazer a sua adaptação à produção virtual com o menor investimento possível (ver Fig. 61). Disponibiliza ainda o tradicional sistema de *tracking* por sensores mecânicos pela monitorização do pedestal onde assenta a câmara da instalação, e através da colocação de sensores na própria cabeça da câmara (neste caso apenas em modelos específicos mas bastante utilizados, Sachtler e Vinten). Este último traz a vantagem de ter sido concebido para se poder montar em apenas 15 minutos e permite que se funcione com o sistema de tripé de maneira convencional (*Thoma - dedicated to accuracy*, n.d.).



Fig. 61a/61b - Sistemas de *tracking* da THOMA: Sensor-Kit Vídeo 25 (15 minutos para a sua adaptação a um tripé convencional) e o THOMA Walkfinder (sistema por infra-vermelhos) com a capacidade de funcionar num estúdio com 120 m² nos 360° e com *delay* de apenas uma *frame*, sem necessidade de recalibração durante a produção (*Thoma - dedicated to accuracy*, n.d.).

O sistema de *tracking* por infravermelhos da THOMA também é sobejamente utilizado por diversas grandes empresas, não só na televisão como no cinema. Tendo sido desenvolvido sobretudo para se utilizar com câmaras portáteis ou estáticas, pode igualmente ser utilizado em operações com pedestal ou *fluid heads*. Este sistema elimina a necessidade de investimento em câmaras e

pedestais específicos para utilização em Cenografia Virtual, mas implica a aquisição do sistema de monitorização. De forma semelhante ao *tracking* por infravermelhos disponibilizado pela ORAD, as câmaras de monitorização são colocadas estrategicamente acima da área do estúdio seguindo todas as posições da câmara. Os alvos colocados nas câmaras emitem *flashes* de infra-vermelhos nas frequências de 50 e 60 Hz. As câmaras de monitorização e as câmaras do estúdio são sincronizadas transmitindo os dados na forma de informações 2D para a *hub ethernet*. O sistema permite o movimento 3D das câmaras a 360° sem nenhuma restrição, sendo que pode ficar até 30 dias sem necessitar de ser recalibrado e o tempo exigido à sua calibração é de apenas de 5m por cada câmara (Thoma - *dedicated to accuracy*, n.d).

O sistema Furio da F(x) MOTION, com um pedestal monitorizado, um elevador telescópico, uma cabeça de câmara com 2 ou 3 eixos e um conjunto de controlo de operadores, funciona também através de um sistema por sensores mecânicos instalados no pedestal da câmara real. Todos os movimentos em qualquer dos eixos são monitorizados e o interface com o *software* do estúdio virtual utilizado é *standardizado*. Utiliza um descodificador externo na lente para determinar as posições de *zoom* e *focus* da lente e possui sensores de translação de posição absoluta. O sistema é leve, portátil, silencioso e facilmente calibrado. Em conjunto com o *Studio Automation* da empresa este sistema permite apresentar movimentos repetidos “on-air” pré-programados. Ainda através do FX-Motion “*Pre-Viz*”, uma aplicação nova no mercado, é possível pré-programar e visualizar o programa televisivo antes da sua realização no estúdio real. Juntamente com o modelo 3D do cenário, é possível funcionar com a simulação do posicionamento do equipamento robotizado (câmara) e definir todos os movimentos da câmara a realizar durante a emissão do programa. Uma vez escolhido o estilo visual a aplicar, os movimentos pré-visualizados podem ser transmitidos para a câmara robotizada, de forma a replicar os movimentos exactos pré-programados (ver Fig. 62) (Furio - *Fx-motion.com*, n.d.).

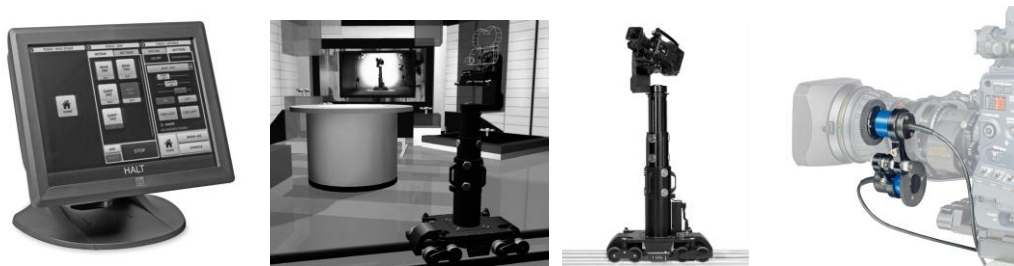


Fig. 62 - Furio System da F(x) MOTION: Studio Automation, Pre-Viz e Virtual Studio (Furio - Fx-motion.com, n.d.).

A Vinten Radamec disponibiliza dois sistemas de *tracking* bastante distintos. O primeiro semelhante aos anteriores consiste na aplicação de sensores mecânicos instalados no pedestal e de codificadores ópticos nas lentes da câmara. Também esta empresa apresenta um pedestal ultra-leve de calibração rápida com *interface* de utilização bastante acessível e com um sistema extremamente preciso na execução de todos os movimentos de *tilt* e *pan* efectuados pela câmara (Vinten Radamec - Broadcast Robotics, © Vitec Group 2010).

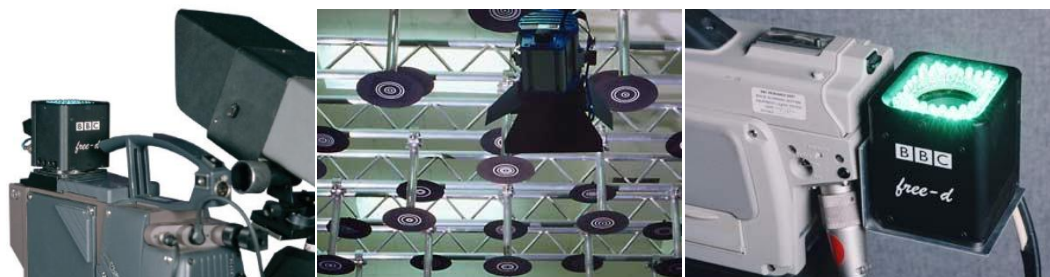


Fig. 63a/63b/63c – Câmara da Vintec Radamec com a câmara auxiliar e *cluster* de Leds incorporado (a); alvos colocados a uma altura de 3.5 a 4 m num estúdio experimental da BBC (b); câmara auxiliar e *cluster* de LED's - *free-d* (c) (BBC Research Production Magic, n.d.).

Já o sistema *free-d* produzido em colaboração com a BBC Research & Design, é um sistema de *tracking* único, que também utiliza a técnica de medição da posição da câmara através da análise da imagem. Este sistema não necessita de sensores mecânicos e a câmara pode ser colocada em pedestais tradicionais, operada manualmente ou colocada num braço mecânico. O sistema utiliza um número de alvos codificados passivos colocados na grelha de

iluminação do estúdio. Os alvos são constantemente iluminados e vistos por uma pequena câmara montada nas câmaras do estúdio, cada alvo é identificado por uma barra circular única. A utilização de uma banda estreita de LED's que emite luz durante toda a filmagem e da utilização de material reflector, assegura que um número suficiente de alvos estão visíveis sob as condições de iluminação normais do estúdio (*Vinten Radamec - Broadcast Robotics*, © Vitec Group 2010).

A imagem do *tracking* da câmara é processada pela unidade *free-d* para calcular a posição exacta e a orientação da câmara em estúdio. Isto consegue-se pela análise da posição física dos alvos. As operações sobre os eixos de *zoom* e *focus* são monitorizados por sensores ópticos montados na lente. Os dados são combinados e o processador *free-d* calcula os movimentos de *pan*, *tilt*, *roll*, *x*, *y*, altura, *zoom* e *focus*. O protocolo para a transmissão de dados baseia-se no protocolo da *Vinten Radamec Serial Position Interface* que já é suportado por diversos fornecedores de sistemas de estúdios virtuais 3D (ver Fig. 63) (*ibid*).

Capítulo III O Cenário Virtual

Na aplicação da tecnologia de Cenografia Virtual, temos paralelamente à preparação do estúdio virtual a construção do modelo do cenário virtual num programa de modelação 3D, compatível ou específico com o *software* a utilizar na composição de imagem em tempo-real. Neste ficheiro é definido todo o *layout* de cena. São atribuídas cores e texturas aos elementos do cenário, tornando-a tão credível (real) quanto possível ou noutra direcção assumindo-se como uma imagem digital totalmente sintética. Devidamente preparado o cenário, este é transferido para o sistema que faz a sua integração com as imagens captadas pelas câmaras.

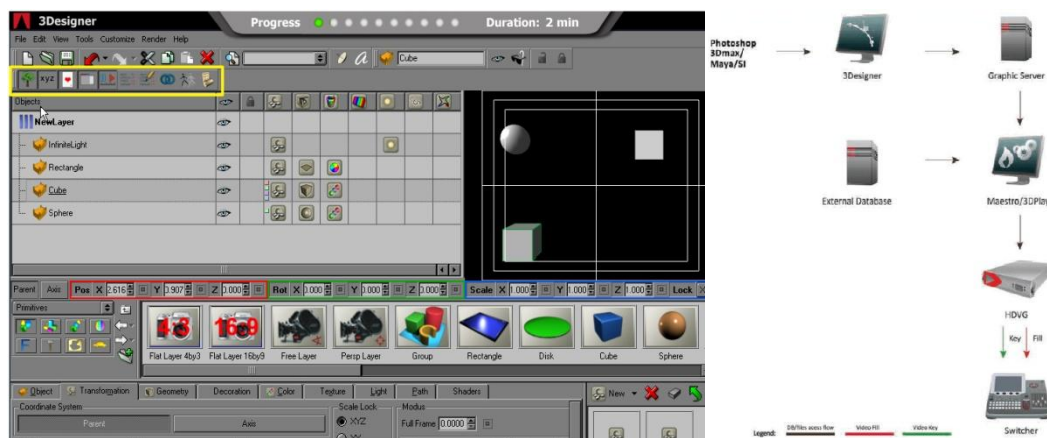


Diagrama 2 - Ambiente de trabalho (*interface*) do *software* 3Designer e diagrama de funcionamento do *software* 3Designer sobre uma plataforma ORAD (imagem captada durante a formação *online* disponibilizada pela ORAD durante a realização desta dissertação, todos os direitos reservados a Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010 & 3Designer, Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010).

Uma vez importado o cenário para o sistema de cenografia virtual, são adaptados e finalizados em *softwares* como 3Designer da ORAD, o eStudio da Brainstorm ou o Viz Virtual Studio da Virzt, para que em tempo-real possa ser efectuada a sua integração com as imagens captadas pelas câmaras no estúdio real.

No estúdio real cada câmara está ligada a um computador que por sua vez está ligado em rede aos outros computadores. Qualquer alteração realizada é assumida por todos os computadores, fazendo com que a câmara virtual se mova de acordo com o movimento da câmara real. Para resolver o problema do se trabalharem com cálculos extremamente pesados em termos de processamento informático, geralmente aplicam-se cálculos de luz e sombras pré-calculados, para que se possa trabalhar em tempo-real. Mesmo assim existe sempre uma pequena diferença entre a imagem captada e o tempo que o sistema demora a fazer o *render* do cenário virtual. Este *delay* é então compensado de forma a coincidir com a imagem e som real.

3.1 SINCRONIZAÇÃO ENTRE A REALIDADE E O VIRTUAL

A sincronização da imagem real e da imagem virtual faz-se através da mistura dos dois sinais de vídeo. Os sinais são introduzidos no sistema responsável pelo *chroma-key*, que faz a conjugação entre o cenário virtual e o real substituindo o *background* verde ou azul pelo cenário virtual.

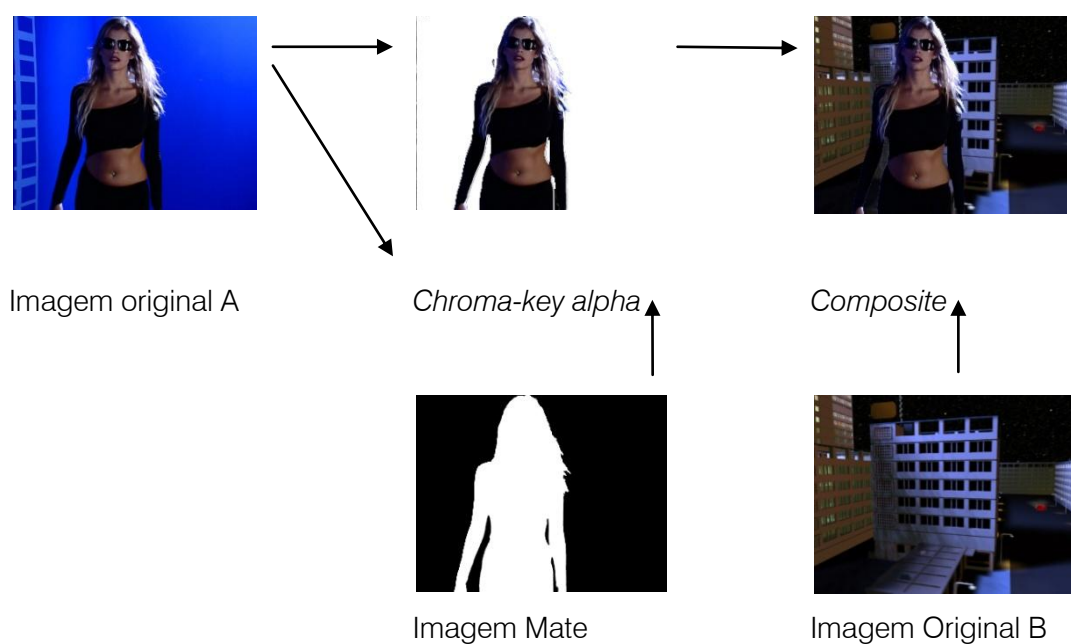


Diagrama 3- Composição de imagem através da técnica de *Chroma-key* (Luz 2006d).

No diagrama 3, observamos graficamente como as imagens A e B se fundem na imagem final (*composite*). De um modo simplificado podemos dizer que na imagem A se aplicou uma técnica de recorte *chroma*, tendo esta sido dividida em *background* (imagem mate) e *foreground* (*chroma-key alpha*). A imagem Mate representa os elementos opacos e os elementos transparentes numa escala de branco a preto respectivamente. Preto é informação nula (transparência), branco é opacidade total e elementos translúcidos correspondem a percentagens de cinzento. Quando anexada a informação mate a uma imagem, neste caso a "A", podemos substituir o fundo adicionando outra imagem (imagem B) e conceber uma nova imagem (*composite*). Esta técnica só funciona se a iluminação estiver suficientemente bem conseguida para que se gere uma cor totalmente uniforme no fundo fazendo com que os sistemas de *chroma* possam reconhecer e criar o mate. A iluminação própria das personagens não pode interferir com o fundo pois de contrário irá gerar brilhos ou sombras que resultam em problemas na criação do mate (Luz 2006d).

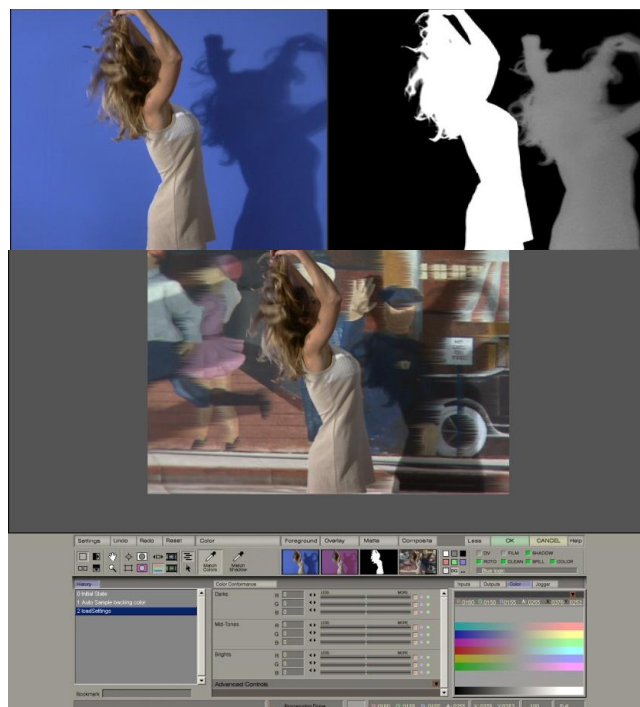


Fig. 64a/64b/64c – a) imagem captada em estúdio com *bluescreen*; b) mate; c) imagem *composite* realizada através da utilização do *software* da Ultimatte Advantega (Ultimatte Corporation, © 2010 Ultimatte Corporation).

PARTE II.

Concepção de Modelos Tridimensionais

A segunda parte apresenta sumariamente as possibilidades dos modelos virtuais e as etapas fundamentais que percorrem até à sua utilização final. Desde cedo se tornou claro que atendendo à especificidade do tema seria necessário proceder a um levantamento exaustivo das técnicas de modelação 3D, *layout* de cena e geração de imagem, aplicadas actualmente nos seus diferentes âmbitos. Só assim se conseguiria obter um resultado positivo na identificação de métodos de trabalho efectivos, quer na concepção dos modelos como na sua compatibilização com as plataformas. Todavia, exactamente pela natureza extensa desse levantamento, o mesmo foi colocado como apêndice F do documento.

Capítulo IV Modelos Virtuais

Os modelos virtuais são utilizados em áreas tão diversas como a indústria cinematográfica e televisiva, a indústria médica, a ciência, a engenharia, a arquitectura, o design, a publicidade e a indústria dos videojogos (ver Fig. 63 e 64). Os *softwares* funcionam como poderosos instrumentos que permitem a construção de modelos tão diversificados como plantas, automóveis, órgãos humanos, pessoas, animais, paisagens, fractais, etc. Inclusive, assistimos hoje em dia ao desenvolvimento de *softwares* específicos para o tipo de modelos e efeito a que se destinam. Entre os *softwares* mais utilizados estão o 3DS Max, o Maya, o Blender, o Cinema 4D, o SketchUp e o Zbrush.

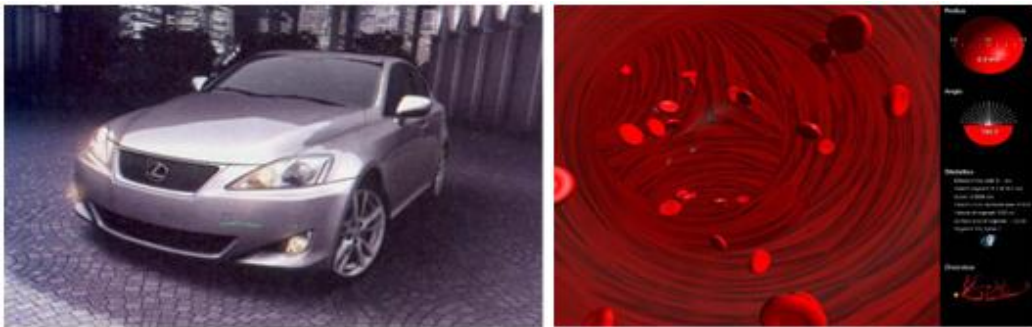


Fig. 65a/65b- a) Publicidade - Visualização 3D fotorealista do modelo da Lexus antes de entrar em produção ;b) Ciência - Visualização e simulação de dados científicos (Computer Graphics I, n.d.).



Fig. 66 - Cenografia Virtual no cinema e na televisão (Even 2010).

De facto, a modelação de objectos tridimensionais ocupa nos nossos dias um espaço cada vez mais importante, a sua utilização na animação, efeitos especiais e videojogos tem elevado os parâmetros de qualidade da CGI a níveis impensáveis quando nos reportamos a apenas a alguns anos atrás. A evolução da CGI como disciplina, levou os investigadores a progredirem do desenho fundamental e de técnicas de *rendering* básicas, para uma complexidade de procedimentos que possibilitaram nos nossos dias a produção de imagens com uma qualidade foto-realista surpreendente. A evolução do *hardware* foi e é de extrema importância, mas sem a descoberta e implementação de algoritmos no *hardware* e *software*, tal não teria sido possível (ver Fig. 67).



Fig. 67a/67b - As possibilidades trazidas pela constante introdução de algoritmos de *render* manifestam-se de forma extremamente diversificada nas diferentes áreas de aplicação (Carlson 2003, *section 19*).

Um dos pontos fundamentais para a representação de modelos realistas complexos, verifica-se na reprodução das leis da natureza e do ambiente físico de forma exacta. Todavia, vemos a progressão para o hiper-realismo ser travada pelas actuais limitações de processamento, pondo provisoriamente de parte desenvolvimentos que exijam *hardware* mais potente. As limitações que daí advêm leva a que seja comum recorrer-se à utilização de “truques” que enganam o observador com o objectivo de o fazer acreditar que as leis físicas estão representadas. Especialistas defendem que se torna mais importante a credibilidade da representação/imagem do que a sua precisão. As maiores dificuldades na geração de imagens prendem-se com a capacidade de reproduzir

a organicidade da natureza, o controlo do movimento, mudanças de forma, dinâmicas (sistemas de partículas, colisões, aglomerações, etc) e as características das superfícies dos modelos (Carlson 2003, *section 19*).

Não obstante, segundo Luz (2005a), as possibilidades criativas dos novos *softwares* com que criamos os modelos virtuais, atingiram novos expoentes ao permitirem conceber formas a partir de objectos flexíveis, orgânicos, rígidos ou líquidos que sofrem tensões (deformações ou suavizações) geradas por ordens dadas aos programas. Existe *software* tão complexo, que permite trabalhar as superfícies como se fossem tecidos elásticos com o qual podemos interagir, revolucionando as possibilidades dos mundos virtuais (ver Fig. 68).



Fig. 68 - “*Phylox Séries*” e “*X Phylum, V3.0*”, elementos criados por novos *softwares* de modelação tridimensional (Luz 2005a).

A cenografia virtual resulta exactamente da possibilidade de se construírem cenografias e personagens como modelos tridimensionais que são posteriormente renderizados na forma de imagens bidimensionais transmitindo-nos a sensação de objectos reais e/ou imaginários que interagem com pessoas e objectos reais na forma de uma realidade aumentada ou simplesmente acrescentada.

O processo de criação de imagens a partir de modelos virtuais criados por CG, divide-se em três etapas fundamentais: modelação, configuração do *layout* da cena e geração de cena (*rendering* e animação). Os resultados finais provêm da fase de *rendering* e dão origem a imagens bidimensionais obtidas a partir de uma vista do modelo 3D. A animação é obtida a partir dos sucessivos *renderings* que se vão obtendo à medida que se vai modificando a posição dos

modelos da cena e da câmara virtual escolhida. É também comum referirem-se aos gráficos 3D como modelos 3D, no entanto, o primeiro respeita à imagem final calculada a partir do segundo, o modelo não chega a ser uma imagem enquanto esta não for visualizada.

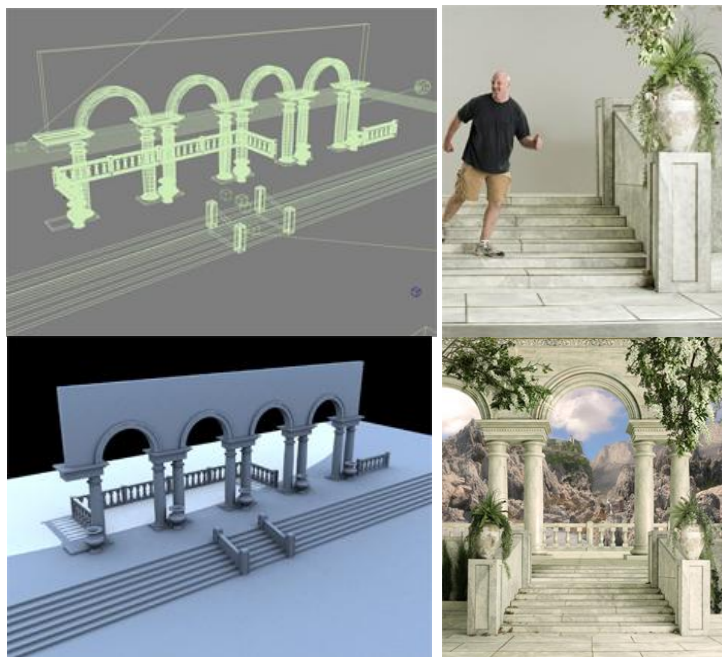


Fig. 69a/69b/69c/69d - Modelo virtual projectado por Bradley Stone para a realização de uma cenografia Virtual (*Bradley Stone: Artist for hire, n.d.*)

Veremos então de forma sumária como se processa a construção destes modelos até à obtenção da imagem final. No anexo F, poderá ser encontrada informação detalhada sobre as técnicas de modelação utilizadas nos diferentes âmbitos.

4.1 MODELAÇÃO 3D

As imagens CG são criadas por computador através da representação de dados e informação que lhe é transmitida. Utilizam-se dados geométricos (geralmente dados Cartesianos: x largura, y altura e z profundidade) para obter uma representação geométrica, de forma a que o computador possa

realizar cálculos e fazer o *rendering* das imagens 2D. Durante o processo de modelação é a descrição tridimensional da cena que permite visualizá-la a partir de qualquer ponto.²⁶

Hoje em dia os programas de modelação utilizam diferentes formas de modelação na construção de diversos tipos de objectos. Trabalhando com polígonos, ou *splines*, os diferentes *softwares* estão preparados com um elevado número de ferramentas que permitem construir todo o tipo de superfícies e formas, incluindo objectos e efeitos que seriam completamente impossíveis de replicar no mundo real. Existem para já quatro tecnologias principais: *Modelação com polígonos*, *Subdivision Surfaces*, *Nurbs* e *Patch Modeling*. Para cada uma delas existe *software* específico ou conjunto.

A modelação poligonal é feita através da representação de superfícies dos objectos pela utilização de polígonos. Os polígonos conectados através dos seus vértices formam e delineiam as superfícies que perfazem o modelo 3D. Estes contornos são conhecidos por malhas ou estruturas de arame (*mesh* ou *wireframe*). Existem uma infinidade de diferentes ferramentas para transformar ou modificar as malhas criadas, sendo outro dos métodos mais simples utilizados na modelação com polígonos a construção de modelos baseados em primitivas simples e complexas. A modelação *lowpoly* (com poucos polígonos) é por excelência o tipo de modelação escolhida para a realização de modelos virtuais a aplicar em programas televisivos com *render* em tempo-real. A modelação com muitos polígonos é utilizada na modelação e animação de personagens, mundos virtuais e também na realização de uma grande variedade de efeitos visuais na indústria cinematográfica.

Na modelação por subdivisão de superfícies, as malhas podem ser provenientes de uma modelação directa com poucos polígonos ou de uma modelação com NURBS e *patches*²⁷. A grande vantagem das *Subdivision Surfaces* está em que o modelador pode modelar uma superfície de traços bastante rudes,

²⁶ O observador coloca-se na posição de uma câmara virtual.

²⁷ Que foi posteriormente convertida a superfície poligonal.

e através da divisão das faces poligonais da malha dar-lhe rapidamente uma aparência suave e orgânica (ver Fig. 70a e 70b).

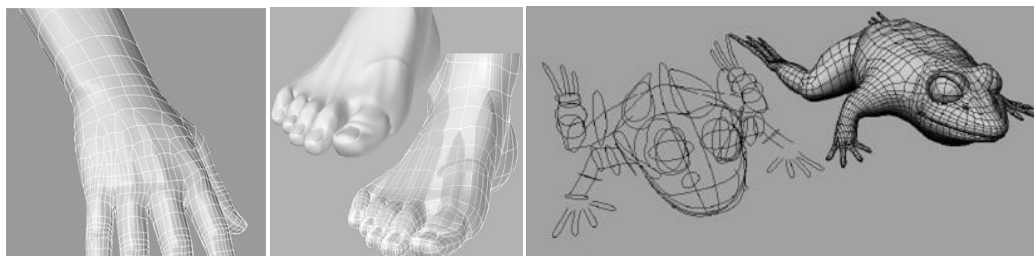


Fig. 70a/70b/70c – a) e b) modelação com subdivisão de polígonos (*software Blender*); b) modelação com NURBS pela técnica de modelação com gaiola de curvas. (a) e b) Evans 2003 & c) Burke n.d.)

A modelação com curvas (*splines*, *B-splines* e *NURBS*) e superfícies de *Bézier*, é expressa por funções matemáticas. Assim, temos que as *splines* em modelação 3D são linhas que descrevem curvas.²⁸ Estas curvas são definidas por um número de pontos e são utilizadas para construir geometria tridimensional. Por obedecerem a leis matemáticas, também podemos controlar a sua resolução e controlar o número de pontos que serão processados durante o *rendering* (ver Fig. 70b).

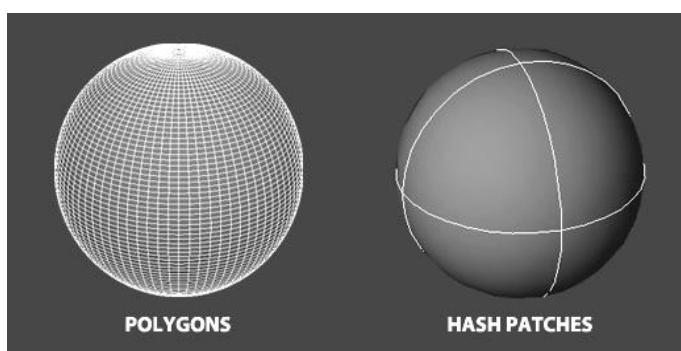


Fig. 71 - Comparação entre uma superfície esférica produzida com polígonos (superfícies lisas), com outra produzida com superfícies curvas obtidas com NURBS - uma esfera de 1000 polígonos conseguida apenas com 8 *patches* (Dykstra 2009).

Uma malha criada pela intersecção de *splines* produz áreas chamadas de *patches*. Os *patches* são parecidos com os polígonos, contudo têm

²⁸ existem diferentes tipos de linhas que seguem diferentes leis matemáticas

vantagens na modelação orgânica, pois é possível com apenas um *patch* definir uma superfície curva, algo que não acontece com os polígonos. É necessário um grupo bastante denso de polígonos para reproduzir algo que pode ser conseguido apenas com um *patch*, com a vantagem adicional de que ao aproximarmo-nos do pormenor a forma não é multifacetada (ver Fig. 71). As malhas de *patches* podem ser modificadas dentro do espaço tridimensional através da adição de pontos à malha, ao qual são conectadas novas *splines* para criar novos *patches*, ou através da alteração das posições das *splines* existentes nos pontos de intersecção, alterando a curvatura da superfície dos *patches*.

De igual forma podemos modelar com curvas directamente a partir da utilização de primitivas simples construídas com NURBS. Diversas ferramentas permitem esculpir estas formas de diferentes maneiras, cortes nas malhas, boleamento das arestas, entre outras, gerando assim formas mais complexas. Existe ainda a possibilidade de transformar as superfícies de polígonos em superfícies de Bézier (*patches*), utilizando as ferramentas aplicadas na modelação com NURBS e *patches* a modelações inicialmente realizadas com polígonos. O contrário também é possível, transformando superfícies de Bézier em malhas de faces ou em malhas de polígonos, e aplicando-lhes as ferramentas para modelação com polígonos.

De uma forma especial temos ainda a modelação de objectos compostos pela utilização de operações booleanas, resultando esta da união, subtração e/ou intersecção de 2 ou mais objectos (ver Fig. 72). O processo inicia-se a partir de objectos já criados com primitivas ou superfícies, podendo a origem da modelação basear-se em polígonos ou superfícies modeladas com NURBS. Dependendo do tipo de objectos obtidos aplicam-se diferentes ferramentas e/ou *software*.

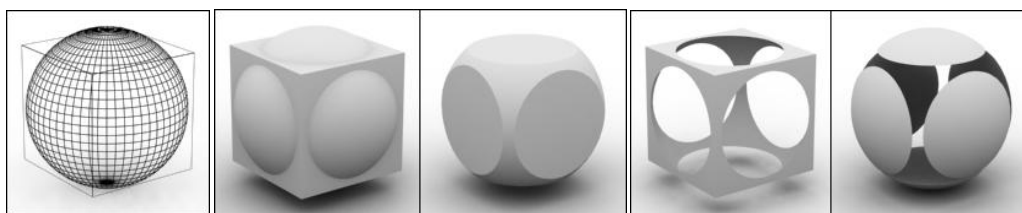


Fig. 72a/72b/72c/72d/72e - Operações booleanas associadas a dois sólidos primitivos: a) *wireframe*; b) união; c) intersecção; d) subtracção A-B; e) subtracção B-A (Lehtinen 2009).

4.2 DO MODELO 3D AO OUTPUT FINAL

A configuração do *layout* de cena realiza-se logo após a modelação. Para se poder iniciar a produção de imagens toda uma série de procedimentos deve ser respeitada. A primeira fase passa pela aplicação de características ao modelo e a segunda pela escolha do ambiente envolvente (iluminação). Definem-se também os parâmetros de interacção entre os materiais aplicados nas superfícies e esse mesmo ambiente (ver Fig. 73). No caso da produção de animações é delineado o movimento das câmaras que ditarão as sucessivas perspectivas sobre a cena e modelos.

O material representa a forma como o objecto reflecte ou transmite a luz, afectando a sua cor, brilho, opacidade e textura, resumindo, toda a sua aparência. As características transformam-se também consoante o tipo de iluminação aplicada na cena. Por sua vez as propriedades do material estão intimamente ligadas às propriedades da luz e a sua combinação é a principal responsável pela aparência realista do objecto (Barata & Santos 2010, p.281).



Fig. 73a/73b – a) modelo tridimensional em *wireframe* com sombreamento; b) imagem gerada depois da aplicação de materiais e configuração do *layout* da cena do modelo representado em a) (Archinteriors Vol. 2. © 2000-2010 Trinity Animation Inc).

Consideram-se diversos tipos de materiais: básicos, mapeados, compostos e complexos (ibid.). Existem materiais específicos com características completamente opostas destinados à utilização com programas de *render* como o *mental ray* ou *render man* e para utilização com *render* em tempo-real. No primeiro caso obtêm-se materiais foto-realistas e no segundo geralmente materiais com uma aparência mais sintética e menos realista. O domínio da técnica de aplicação de materiais é de extrema importância. Apesar da existência de inúmeras bibliotecas de materiais de um incrível realismo disponíveis para utilização imediata, estes materiais não são na maior parte das vezes os mais adequados às necessidades da geração de imagem em tempo-real. Por outro lado as possibilidades de aplicação atingiram em muito pouco tempo um desenvolvimento exponencial na sua variedade, realismo e criatividade.

Entre as diversas técnicas disponíveis na aplicação de materiais devem-se dominar conceitos como a diferença entre materiais básicos e materiais mapeados; cor ambiente, difusa e especular, reflexão e refração, brilho, transparência (opacidade), materiais auto-iluminados, em modo de arame e materiais double-sided. De igual forma, é importante compreender que hoje em dia tudo se processa através dos *shaders*, pequenos programas que correm nas VPU's (Visual Processing Units ou GPU Graphic Processing Units) e que controlam as tarefas a executar dentro do programa antes, durante ou depois do processo de *render*, descrevendo a forma como a imagem deve ser renderizada. Entre os diferentes tipos de *shaders*, temos os *vertex shaders* e os *pixel shaders*. Os

primeiros manipulam os polígonos individuais que compõem os objectos 3D, enquanto os *pixel shaders* actuam nos píxeis individuais que preenchem os polígonos para criar as imagens. Como exemplo de aplicações de *vertex shaders* temos o vento a soprar na relva ou as ondulações na superfície dos oceanos (ver Fig. 74).

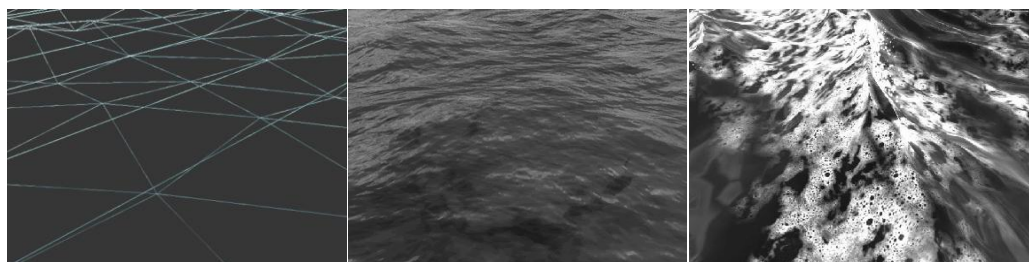


Fig. 74a/74b/74c - Aplicação de um *vertex shader* para modelação da superfície ondulante que simula a água. Através da aplicação de diversas outras “tarefas” é possível chegar a um *rendering* final como o da imagem da direita.

Os *pixel shaders* actuam sob três tipos de instruções diferentes: instruções de vector (também conhecidas com instruções de cor), que operam nos três canais RGB simultaneamente; instruções de escala (também conhecidas como instruções alfa²⁹) que operam em apenas um canal; e as instruções de textura que escolhem e filtram texturas de maneiras muito diversas. Estes *shaders* têm de realizar diferentes tarefas até encontrarem o resultado final do pixel representado na imagem final. Cada vez mais as unidades de processamento gráfico são modeladas aos processos de *render* sendo que os *multipass pixel shaders* têm vindo a ser cada vez mais utilizados. Sempre que os *shaders* excedem os limites dos recursos existentes no *hardware* gráfico disponível, este tipo de *shader* revela-se de extrema utilidade, pois permite dividir as tarefas de forma a não exceder os recursos disponíveis.

²⁹ O canal alfa é utilizado de diversas maneiras, dependendo do fim pretendido. Uma delas é a definição da área de transparência de cada objeto. Numa escala do preto ao branco, a área branca define onde o objecto deve ser mostrado e a preta onde ele deve ser transparente.



Fig. 75a/75b/75c/75d/75e - Diferentes materiais controlados por *shaders*, gerados por diferentes tipos de cálculos. Estes materiais são aplicáveis através das bibliotecas de materiais do *software* V-Ray (*V.ray.materials*, © 2006 Dennis A. Hoppe and Marco Schrenk).

Os *shaders* de iluminação definem a forma como a luz é distribuída na superfície e os *shaders* para efeitos especiais criam materiais complexos como pelos e cabelo, água, explosões de fumo e fogo. Este tipo de representações é mais difícil de conseguir através das técnicas de modelação, texturização e iluminação e animação convencionais.

Outras aplicações incluem a existência de *shaders* para simular o aspecto de desenho animado e onde os materiais têm um aspecto não realista do género *cartoon*.

Existem ainda *shaders* para aplicar no *pós-render* tais como desfocagem (*bluring*) ou filtros (*filtering*) que deformam/manipulam as imagens; e *shaders* para gerar efeitos volumétricos luminosos³⁰ como por exemplo o nevoeiro amarelo gerado por uma lâmpada incandescente. Estes são só alguns exemplos entre uma variedade intensa de ofertas para a realização de FX.

Os materiais mapeados, são materiais básicos aos quais foram aplicados padrões/texturas, através de um sistema de coordenadas que identifica o posicionamento da textura no objecto. Dentro da categoria dos materiais mapeados distinguem-se dois tipos essenciais com características bastante diferentes, as texturas processuais ou de procedimento (*procedural textures*) e as texturas com imagens. Geralmente os materiais assim produzidos resultam da

³⁰ A técnica de *volume lights* é uma aproximação do efeito de luz no mundo real onde partículas minúsculas que pairam no ar interagem com os raios de luz, produzindo diferentes efeitos como o arco-íris. A sua aplicação não corresponde a uma replicação das leis físicas mas sim a uma simulação através de um efeito especial.

associação de mais do que uma textura com o objectivo de se obterem materiais mais complexos.

As texturas processuais são imagens geradas pelo processamento de um algoritmo com o objectivo de criar uma representação realista de materiais naturais tais como a madeira, o mármore, o granito, o metal e a pedra. A aplicação de texturas processuais revela-se de extrema importância para a geração de imagens em tempo-real. Por se basearem na utilização de algoritmos matemáticos, ocupam pouco espaço na memória e têm um processamento bastante rápido. As mesmas são responsáveis pela aplicação de texturas animadas ou dinâmicas, tais como água, fogo e nevoeiro. Temos ainda que recentemente se desenvolveram as *real-time procedural textures* que se baseiam na utilização de algoritmos concebidos através da utilização da matemática moderna e que permitem a redução das necessidades de memória no sistema de *rendering* em cerca de 90%. Introduzem ainda o conceito de envelhecimento dos materiais em função do tempo (ver Fig. 76).



Fig. 76a/76b - Nestas duas imagens retiradas de um vídeo/*demo* criado pela empresa *Allegorithmic* vemos o original e o alterado, de uma casa de banho construída exclusivamente com texturas processuais “vivas”, isto é, cujos algoritmos de cálculo alteram o seu comportamento em função do tempo decorrido (*Allegorithmic*, © 2003-2010 *Allegorithmic*).³¹

³¹ A parte mais fascinante da aplicação desta nova geração de texturas processuais é o facto de que na sua aplicação em videojogos, os materiais podem reagir ao ambiente como seres vivos. Plantas,

Os materiais mapeados com texturas de imagens são uma das técnicas mais utilizadas na aplicação de materiais em cenas com rendering em tempo-real, consistindo na aplicação de imagens ou mapas (ficheiros de imagem *bitmaps*) para alterar a aparência das superfícies. Aqui importa reter conceitos como mapeamento UV, isto é, a maneira como se mapeiam as texturas de imagens sobre modelos tridimensionais, mapeamento UVW e *unwarping* (ver Fig. 77).



Fig. 77a/77b - Modelo poligonal ao qual foram associadas as texturas representadas na imagem à direita (Gailunas, S, n.d.).

Concomitantemente, desde as primeiras demonstrações de aplicações de imagens como texturas nos anos 70, diversas outras soluções têm sido introduzidas produzindo resultados bastante diferentes. As superfícies lisas para além de cor e detalhes ganharam relevo e sombreado de acordo com esses mesmos relevos (sem alteração da geometria), levando a que o *texture mapping* juntamente com o *bump mapping* e o *normal mapping* se tornassem efeitos *standard* nos videojogos. O objectivo é geralmente “enganar”, isto é fazer querer que estão representados mais detalhes dos que na realidade estão modelados tridimensionalmente.

O efeito de *bump mapping* tem por objectivo simular rugosidades (depressões e elevações) nas superfícies mapeadas, através da ilusão de relevo sugerida por um jogo de luzes e sombras. A técnica de *normal mapping* ou *Dot3 bump mapping* é um aperfeiçoamento da técnica de *bump mapping* e serve para

cabelo e barbas crescem ao longo do jogo, tal como o sol nasce e se põe enquanto decorre a acção.

criar a ilusão de relevos e baixos-relevos correctamente iluminados independentemente da perspectiva em que é realizado o *rendering*. É utilizada sobretudo em modelos com uma baixa resolução de polígonos (*lowpoly*), com o intuito de lhes conferir uma aparência mais complexa e realista, reduzindo o tempo de processamento necessário ao *render*. Este efeito é conseguido através de um *pré-render* do mesmo modelo com uma alta resolução poligonal que origina um mapa no qual é armazenada informação relativa aos efeitos de iluminação da cena, através da detecção das normais à superfície (ver Fig. 78). Mais antiga, contudo um lugar comum, é a aplicação de *Mip Maps* ou *Multiple Texture Maps*, técnica que selectivamente diminui o detalhe dos mapas de uma textura, baseada num índice de distância do ponto de vista do observador ao objecto.

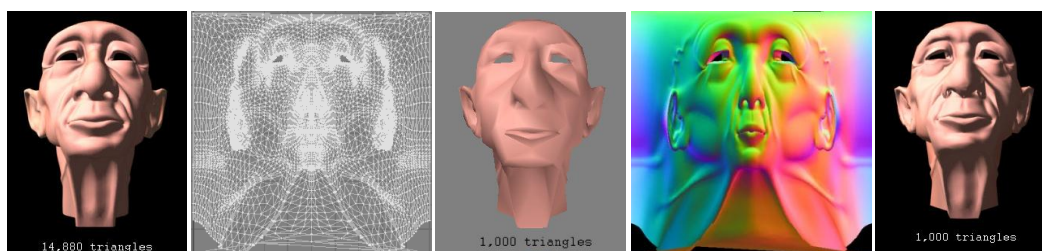


Fig. 78a/78b/78c/78d/78e – Em e) vemos como o modelo com 1000 polígonos c), através da aplicação de um normal map d), têm na imagem final um aspecto bastante semelhante ao modelo original com 14 800 polígonos a) (*Lightwave Plugins for normal maps*, 2003).

Na aplicação de *Bump Mapping* ou *Normal Mapping* contornos e sombras facilmente denunciam a “falsidade” da textura. O *Displacement Mapping* ou *True Bump Mapping* surgiu como uma técnica capaz de controlar integralmente os problemas colocados pelas anteriores, nomeadamente oclusões, sombras, sombra própria e contornos. A grande diferença está em que esta adiciona efectivamente detalhes reais às superfícies modificando a sua geometria. Existem diversos métodos aplicáveis entre eles o *2D displacement mapping* e o *3D displacement mapping*. Em alguns casos, para que se adapte correctamente uma textura, é preferível proceder a uma subdivisão da superfície antes de se realizar o *displacement*. É ainda possível aplicar texturas processuais no deslocamento de uma superfície e fazer deslocamentos com supressão parcial da superfície.

O *vector displacement mapping* é uma técnica recente, que actua ao nível das máquinas de *render*, tornando o processo de *displacement* mais rápido. A utilização de mapas RGB substituindo os tradicionais mapas em *grayscale*, permite a modelação rápida de formas extremamente complexas partindo de modelos bastante simples. Eliminando as limitações dos deslocamentos baseados nas normais, as modificações actuam ao nível das 3 coordenadas. O nome *vector displacement* provém exactamente do facto de se utilizarem vectores para a representação das 3 direcções (ver Fig. 79). Assim aos canais, Red, Blue e Green correspondem deslocamentos nas direcções U, V e N (normais às faces).

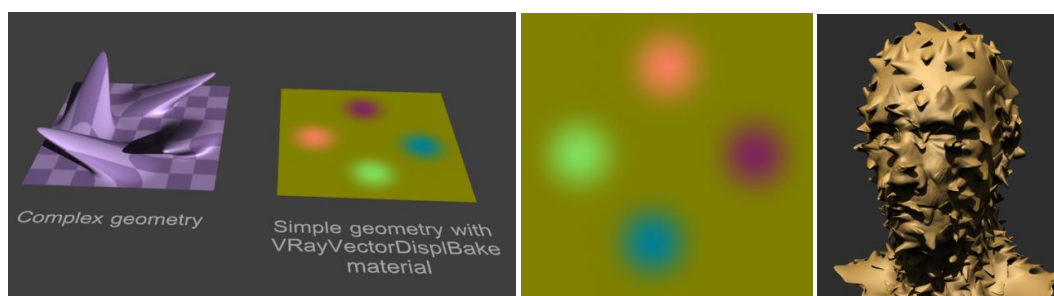


Fig. 79a/79b/79c – Em c) vemos como a partir de um modelo de geometria complexa, a) se realiza (*bake*) um mapa de textura b) para ser utilizado como parte de um material. Quando aplicado a uma qualquer forma geométrica através de um *shader* com *vector displacement* altera completamente o resultado da superfície (aqui utilizado através do software de *render* Vray) (VRayDisplacementMod, 2010)

A indústria de *software* e *hardware* para videojogos têm vindo a desenvolver em conjunto com um elevado número de investigadores diversos tipos de técnicas para aplicação em modelações com geração de imagens em tempo-real. Através de uma abordagem sistemática às mesmas pudemos identificar métodos e *modi operandi* de extrema relevância para concretizar os nossos objectivos. Entre as técnicas de mapeamento identificadas, temos a aplicação de *Parallax Mapping*, *Steep Parallax Mapping*, *Relief Texture Mapping*, *Per Pixel Displacement Mapping*, *View Dependent Displacement Mapping*, *View Dependent Texture Mapping using Per Pixel Visibility* e fortemente implantada no mercado dos videojogos temos o *Dynamic Parallax Occlusion Mapping with soft shadows*, neste momento uma das técnicas mais comuns para a aplicação de

texturas com imagens, permitindo um foto-realismo de grande qualidade (ver Fig. 80).



Fig. 80a/80b - Na imagem à esq. muro e passeio foram renderizados com *parallax mapping*, à dir. com *bump mapping*. O método de *Dynamic Parallax Occlusion Mapping with soft shadows* permite ainda utilizar mapeamento de sombras nas superfícies e gerar dinamicamente reflexos dos objectos na cena (Tatarchuk 2006a).

Os modelos 3D são inseridos nas cenas virtuais tal como os objectos reais o são no mundo real. A iluminação dos objectos na cena é feita utilizando luzes tais como lâmpadas, luz de uma fonte distante (luz do sol por exemplo), projectores usados no cinema ou no teatro, etc. Quanto melhor for aplicada a iluminação maior será o efeito tridimensional. A escolha das luzes adequadas a cada situação e a sua correcta localização na cena deve ser feita estrategicamente.

Existem dois tipos de cálculos de luz, directa e indirecta. A luz directa (*local illumination*) viaja a partir de uma fonte sobre uma direcção até embater numa superfície iluminando-a. Todos os sistemas de *render* simulam este tipo de iluminação, mas apenas aqueles que efectuam o cálculo de *Global Illumination* (GI) calculam a luz indirecta (3drender.com, © 2002 by Jeremy Birn).

A GI reúne a classe de algoritmos utilizada no *rendering* de modelos 3D para determinar o caminho que percorre a luz numa cena. Na vida real os raios de luz podem ser absorvidos, refractados e/ou reflectidos pelos objectos que encontram, por sua vez, os raios de luz reflectidos podem agarrar alguma da cor dessas superfícies. Assim, temos que a GI tem em conta não só a luz que proveio directamente da fonte de luz (*local illumination*), mas também a luz que se reflecte

a partir de outras superfícies no mundo. Entre os algoritmos de *rendering* utilizados encontram-se o *raytracing*, a radiosidade, *beam tracing*, *cone tracing*, *path tracing*, *metropolis light transport* ou o *photon mapping (caustics)*. Os resultados variam consoante seja escolhido um ou outro algoritmo³², ou se foram utilizados mais do que um ao mesmo tempo.

A geração de imagem com GI consegue simular a maior parte das cenas reais. Sendo consideradas mais foto-realistas do que as que usam apenas algoritmos que calculam a luz vinda a partir de fontes de luz locais, contudo são muito mais lentas de produzir. Para evitar este constrangimento, é frequente realizar-se o pré-cálculo da *Global Illumination* de uma cena e guardar essa informação juntamente com outros dados do modelo (*Baked Textures*) (ver Fig. 81). Esses dados podem então ser usados para gerar imagens a partir de diferentes perspectivas dentro dessa cena (assumindo que nenhuma luzes foram apagadas ou adicionadas).

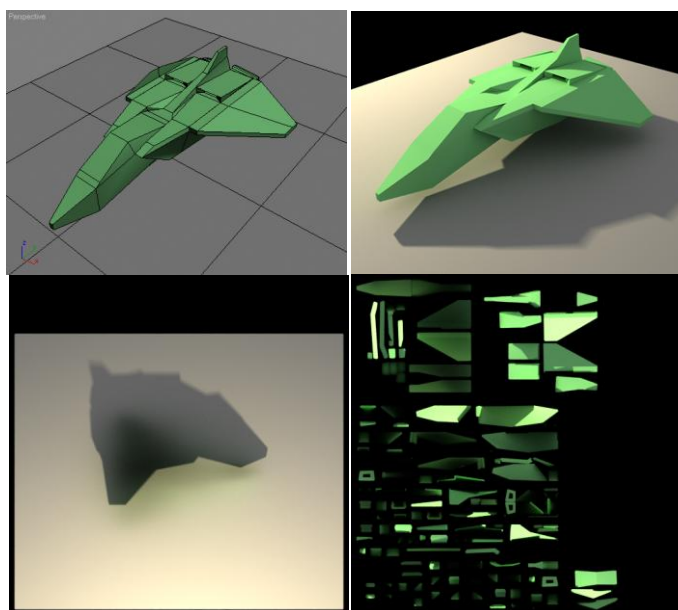


Fig. 81a/81b/81c/81d – a) Modelo tridimensional; b) *Render* do modelo realizado com cálculo de GI pelo *software Vray*; c) e d) mapas de texturas com iluminação global pré-calculada para aplicação no modelo - a sua utilização diminui significativamente as necessidades de processamento do *render (V-Ray rendering system 1.5 SP5, © 2001-2010 by Chaos Software Ltd)*.

³² Um algoritmo funciona como uma lista de instruções. Cumpridas as instruções fica completa a tarefa para o qual foi concebido.

Nos diversos tipos de luzes aplicáveis, encontramos as luzes omni, pontos de luz com uma localização específica e que emitem raios em todas as direcções, tal como uma lâmpada, vela ou fogueira; luzes distantes ou direccionais com e sem alvo, onde a luz é emitida em raios paralelos com uma direcção específica independentemente da sua localização (a direcção é definida pelo posicionamento da fonte e do alvo se este existir – e.g. simulação da luz do sol); focos com e sem alvo (*Spotlights*), em que a projecção dos raios se faz em cone a partir de uma localização e para um determinado alvo ou perpendicular à vista utilizada, tal como um holofote ou uma lanterna; *Area Lights* que replicam o tamanho de uma fonte luminosa na vida real, e que permitem modelar o tamanho e forma da luz; e luz do céu ou *environment spheres* simulando a iluminação do céu, difusa e não localizada, como se fosse gerada por uma semi-esfera que cobre a cena. Mais recentemente surgiu a possibilidade de se aplicarem luzes fotométricas que copiam a utilização de luzes tal como faríamos num ambiente real através da utilização de luzes virtuais com um comportamento semelhante ao das lâmpadas *standard* reais). Não só aumentou o nível de credibilidade das imagens como reduziu o tempo necessário em testes para se conseguir uma boa iluminação.

Entre os conceitos predominantes temos também a aplicação de oclusão de sombras ou ambiente, método de sombreamento utilizado para aumentar o grau de realismo dos modelos, tendo em conta a atenuação da luz devido a oclusão. Relativamente à aplicação de algoritmos de GI, este método obtém resultados bastante satisfatórios e com muito menos tempo na produção da imagem.

Tal como verificamos na secção anterior, as texturas podem ser usadas para controlar diversas características de uma superfície, aquelas que respeitam à simulação de iluminação na cena são conhecidas por *lightmaps*, *baked maps* ou *environment maps*. Os *lightmaps* ou mapas de incandescência usam a técnica de aplicação de mapas de texturas para simular automaticamente as propriedades de iluminação de um objecto. Quando aplicados, independentemente dos objectos se encontrarem numa zona sombreada eliminam

a necessidade de se utilizar uma fonte de luz para os iluminar. É um dos métodos mais utilizados para simular que o objecto é a própria fonte de luz (ver Fig. 82).



Fig. 82a/82b/82c - Este modelo foi concebido com uma malha de 77 vértices e 44 faces ao qual foram aplicados dois mapas, o 1º de textura a) e o 2º de iluminação b), a 3º imagem c), mostra o resultado da aplicação do *lightmap* (Miller 1999).

O processo de realização de *baked maps* refere-se geralmente ao processo de gravar como uma imagem o aspecto de um material ou de uma superfície. O conceito por detrás desta técnica está em que determinados parâmetros dos materiais têm um processo de *render* muito mais demorado em relação àquele que é exigido pelo *render* de modelos mapeados. O *baking* de texturas é geralmente realizado quando o modelo está finalizado sobre as normais da superfície, dando origem aos já referidos *normal maps* ou sobre os materiais e luzes aplicados na cena, dando origem aos *baked maps*. Este processo implica normalmente que as texturas sejam *unwarped* para um ficheiro de imagem, que ficará agregado a coordenadas UV e que por sua vez regularão o seu mapeamento sobre o modelo no *render* final.

O *environment mapping* simula a forma como um objecto reflecte o ambiente envolvente. Na sua forma mais simples confere aos objectos uma aparência cromada. Esta técnica assume que o ambiente do objecto (isto é, tudo o que o rodeia) está a uma distância infinita do objecto e como tal as imagens, *environment maps*, são dispostas de forma a criar uma imagem omnidireccional. O tipo de aplicação de *environment mapping* mais utilizado é conhecido por *cube map* e consiste na utilização de seis imagens de texturas quadradas que se juntam na forma de um cubo formando a textura omnidireccional (ver Fig. 83). Contudo

existem outros tipos de *Environment Map* nomeadamente o *Spherical Mapping*, *Blinn/Newell Mapping*, *Pyramid Mapping*, *Octahedron mapping*, etc.

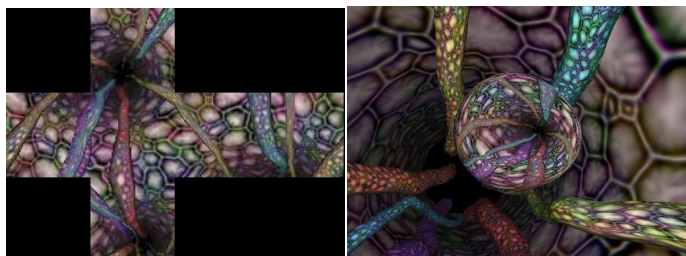


Fig. 83a/83b - *Cube mapping*, simula no objecto a reflexão do ambiente envolvente (*OpenGL Cube Map Texturing*, 2004).

Quanto às câmaras utilizadas nos programas de 3D estas podem simular o comportamento das câmaras que utilizamos na realidade, sejam fotográficas, de vídeo ou de filmar (no cinema). A cada câmara utilizada corresponde um ponto de vista, quantas mais adicionarmos mais diversificadas se tornam as possibilidades de realização. Geralmente na realização cinematográfica o realizador opta por apresentar o espaço de diferentes ângulos, com profundidades de campo variadas assim como com enquadramentos diversificados. As câmaras são animadas de maneiras diversas podendo executar movimentos do género “andar” ou “sobrevoar” pela cena. Alguns programas permitem apresentar efeitos especiais tais como *Depth of Field* (profundidade de campo), *Motion Blur* e *Lens Flare*. O primeiro simula a desfocagem dos objectos que se encontram muito afastados ou muito próximos da câmara, o segundo simula a perda de nitidez causada pelo movimento dos objectos na cena e o terceiro efeitos de contra luz. Os três efeitos tornam as animações mais realistas, mas apesar dos *softwares* disponibilizarem estas ferramentas a sua utilização consome bastantes recursos.

A terminar esta secção dedicada ao *layout* de cena, temos que a modelação 3D surgiu como um método bastante eficaz para a produção de animações. Após a modelação do objecto qualquer perspectiva pode ser facilmente obtida a partir de qualquer ângulo. Esta característica torna o processo de animação em 3D mais rápido do que o processo tradicionalmente utilizado para

a produção de animações 2D. A animação de personagens divide-se essencialmente em quatro fases: modelação, *rigging* (transformação do modelo numa marioneta 3D), *skinning* (aplicação de texturas e controlo do movimento) e animação do personagem. Durante a modelação de personagens que sabemos à partida que sofrerão deformações ao serem animados (tais como a mão humana) é especialmente importante o modo como definimos a estrutura da superfície. A estrutura do modelo (orientação, tipos de polígonos ou *patches*) pode comprometer à partida a animação do modelo.

4.3 GERAÇÃO DE IMAGEM - *RENDERING*

A geração de imagem ou *rendering* é o processo de produzir uma imagem baseada em dados tridimensionais armazenados no computador. O processo criativo é semelhante ao fotográfico ou do cinema uma vez que se produzem imagens a partir de cenas encenadas e iluminadas, mas ao contrário destas, tudo numa imagem 3D tem de ser recriado antes de poder ser renderizado. A vantagem está em que a partir do momento em que criamos a cena temos o total controlo sobre esta podendo alterar infinitamente o seu aspecto final. O processo de *rendering* culmina com a produção de uma imagem digital, realizada a partir de uma determinada perspectiva e lugar na cena. O *rendering* pode simular a realidade ou por outro lado ter um aspecto não realista como uma pintura, imagem abstracta ou desenho animado (ver Fig. 84).

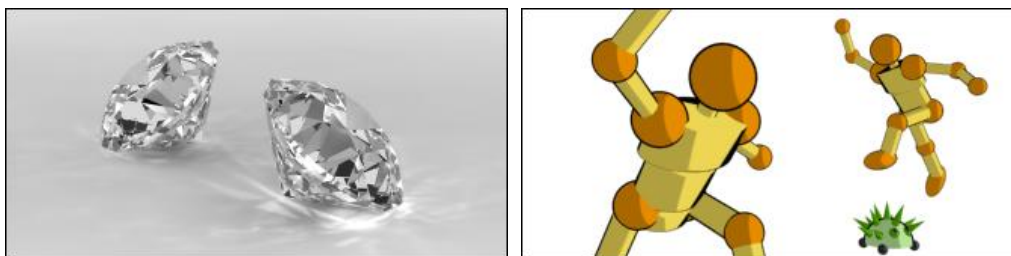


Fig. 84a/84b - Dois tipos de *rendering* com características totalmente diferentes. O primeira tem uma abordagem realista e a segunda procura uma abordagem do género *cartoon* (Lehtinen 2009).

É um dos tópicos de maior desenvolvimento na indústria de gráficos de 3D estando interligado a todas as outras fases do processo de realização de imagens e de animação. Consoante a sua aplicação se destine à realização de videojogos de computador, simulações, FX no cinema e televisão ou visualização no design, são desenvolvidas e aplicadas diferentes características e técnicas.

O processo de *rendering* é ainda conhecido por visualização realista, considerando-se como um dos objectivos principais da modelação 3D a criação de imagens fixas ou animações realistas. O *render* é obtido depois de realizada a modelação, definidos os parâmetros da cena e depois de configurado o tipo de *rendering*. Gravando os estados das cenas em ficheiros únicos, tem-se a possibilidade de definir as diferentes condições de iluminação (cor, intensidade, sombras, posição, orientação, escala, etc), propriedades dos objectos, materiais, propriedades de câmaras, *layers* e condições de ambiente (fundo, cores de ambiente, tingimento, mapeamentos de ambiente e controlo de exposição) num mesmo ficheiro.³³ Neste processo são ainda escolhidos os objectos que serão animados e quais as suas trajectórias, e se serão aplicados vídeos (texturas animadas) sobre algum objecto virtual dentro do cenário. Considera-se então reunidas as condições para se proceder ao *rendering* propriamente dito.



Fig. 85 - Imagem obtida através do *shader mia_material* do motor de *render mental ray*, especialmente desenhado para reproduzir reflexos brilhantes, refrações e vidro com uma grande qualidade (*What is mia_material?*, n.d.).

³³ Este processo não inclui a criação de novos objectos.

O *render* pode ser realizado de diversas formas: através do próprio programa de modelação que inclui o seu sistema de *render*; através de *plug-ins* que são acoplados a um programa principal; ou ainda individualmente através da importação do ficheiro para o programa exclusivo de *rendering*.³⁴ Estes programas são desenhados de forma cuidada apoiando-se numa mistura selectiva de disciplinas relacionadas com a física da luz, a percepção visual, matemática e o desenvolvimento de *software* (ver Fig. 85). O processo de *rendering* pode ser lento e exigir um processamento intensivo do computador (e.g. indústria cinematográfica) ou ser acelerado por *hardware* para realização em tempo-real através de placas gráficas (GPUs) ou placas de edição de vídeo (e.g. videogames e cenografia virtual). As técnicas aplicadas no seu cálculo são diversas entre elas estão o *painter's algorithm*, o *scanline rendering*, *buffer algorithm's*, *Global Illumination*, radiosidade, *raytracing* e *volume rendering*.³⁵

O *Rendering* pode ainda ser distinguido de duas maneiras, por *Model-Based rendering* e por *Image-Based Rendering*. Os dois são aplicados em função dos objectivos a cumprir, tendo em conta as limitações de processamento de dados que possam surgir. O *Model-Based rendering* apoia-se na criação de um modelo 3D para realizar o *render* do modelo final e exige geralmente um maior esforço computacional. Os métodos de *Image-Based Rendering* utilizam imagens pré-renderizadas de uma cena ou fotografias como primitivas básicas, combinando-as para compor o cenário. De igual modo se distinguem as técnicas de *rendering* pela forma como calculam o transporte da luz no ambiente virtual. Duas técnicas destacaram-se das demais pelo seu realismo. A primeira baseada no cálculo da radiosidade, assenta na matemática elementar finita. A segunda, baseia-se no cálculo de *raytracing* e assenta na matemática de Monte Carlo. As duas partiram da *Render Equation* de Kayjan e têm um processamento intenso e lento.

³⁴ Alguns destes programas de render são projectos de *open-source*.

³⁵ O *volume rendering* é especialmente utilizado no meio científico pelo que não especificamos as suas características.

Para um processamento em tempo-real, o cálculo completo do comportamento da luz teria um custo computacional inabarcável. Para tornar o processo célere utilizam-se técnicas de simplificação de cálculo por aproximação. É utilizada a iluminação directa, com um custo computacional muito inferior ao gerado por radiossidade ou *raytracing* e não se realiza o cálculo da iluminação indirecta, substituindo-o por técnicas de pré-cálculo tais como as *baked textures* ou os *environment maps*. Estas técnicas são geralmente acrescentadas de outros FX e pré-cálculos. Entre os conceitos a reter temos ainda as noções de *multipass rendering*, *rendering por layers*, radiossidade, *photon mapping*, *scanline render*, *z-buffer*, tesselação e *antialiasing*.

PARTE III.

Concepção de uma cenografia virtual no meio audiovisual

A terceira parte refere-se à investigação no terreno, através da análise dos *modi operandi* e das *praxes* utilizadas no dia-a-dia, a fim de se encontrarem novas soluções e aplicabilidades que validem os objectivos propostos.

Com base na análise realizada foram identificadas: as condicionantes e adaptações necessárias para se funcionar no meio audiovisual; a forma como podem ser aplicadas tecnologias reconhecidas de modelação na concepção de projectos de Cenografia Virtual; e por último, como realizar a compatibilização dos modelos 3D com as plataformas de CV.

METODOLOGIA

No levantamento *in loco* dos *modi operandi* e das *praxes* associadas à Cenografia Virtual na RTP, na SIC e na ESCS, foram avaliados as plataformas instaladas (estúdio, *hardware* e *software*), os métodos de trabalho dos técnicos envolvidos e a evolução do projecto até o produto final ser emitido. A recolha de dados fez-se de forma a poder comparar-se as diferentes possibilidades projectuais das entidades consultadas, assim como a de identificar as suas especificidades.

Nas plataformas televisivas da RTP e da SIC foi observado o desempenho de plataformas de *render* em tempo-real da ORAD com *tracking* por infra-vermelhos e sensor mecânico da mesma empresa. No caso da ESCS, a plataforma foi instalada pela Brainstorm e o *tracking* faz-se através do sistema *free-d* e por sensor mecânico da Vinten-Radamec. Quanto à tecnologia instalada para a realização do *chroma-key*, é utilizado nas três instalações material e *software* da Ultimatte. O *software* de modelação escolhido pela RTP e pela ESCS é o *software open-source* Blender e na estação televisiva SIC utilizam-se os *softwares* Maya e 3dsMax da Autodesk.

O estudo *in loco* da modelação de projectos de CV realizados ou em curso nas estações televisivas quer na ESCS, foi acompanhado por diversos técnicos respectivamente: António Polainas (director geral do departamento de Cenografia e Cenografia virtual) e Nuno Estanqueiro (modelador) na RTP; Vítor Duarte (responsável pelo departamento de Cenografia e Cenografia virtual), Rui Aranha (modelador) e Gonçalo Calheiros (modelador) na SIC e finalmente Miguel Baptista (técnico superior) na ESCS. Paralelamente fomos ainda apoiados com informações e orientações dadas pelos peritos: Alexandre Roriz, director geral da VANTeC e especialista na área da implementação de estúdios virtuais; e Filipe Costa Luz, Designer Industrial de formação, Mestrado em Ciências da Comunicação, sub-director da Licenciatura em Animação Digital da Universidade Lusófona, Coordenador do Laboratório Movlab e docente na ULHT nas áreas de modelação 3D e Ambientes Virtuais e Interactividade.

Capítulo V

Condicionantes ao funcionamento de uma estação televisiva

A partir do contacto directo com as realidades e necessidades particulares da RTP, da SIC e da Escola Superior de Comunicação Social, foi possível identificar a existência de um conjunto de condicionantes que podem limitar substancialmente todo o processo de execução de uma Cenografia Virtual.

Consequentemente, entendemos que antes mesmo de se proceder à análise do processo de realização de um projecto de CV, ser necessário identificar essas condicionantes e a forma como estas se traduzem em limitações de ordem diversa, nomeadamente: limitações associadas ao *software* e *hardware* instalado, ao estúdio utilizado e à forma de realização, ao tempo disponível para a concepção do projecto e à formação dos técnicos envolvidos.

5.1 LIMITAÇÕES DE *SOFTWARE* E *HARDWARE*

As limitações de *software* estão intrinsecamente ligadas à forma como é concebido o modelo projectual, ao tipo de resultado que se deseja obter como imagem compósita final e às possibilidades oferecidas pelas diferentes ferramentas disponibilizadas pelos programas. As limitações de *hardware* prendem-se essencialmente com o tipo de plataforma instalada e à forma como o *software* corre sobre o *hardware*. São utilizados dois tipos de *software* durante o processo, numa primeira fase, *softwares* de modelação e numa segunda fase, o *software* que executa o *rendering* em tempo-real.³⁶

³⁶ 25-30 FPS (geração de *frames* por segundo); distinga-se a geração de imagens em tempo-real da geração de imagens *on the fly*. O primeiro conceito implica uma geração de imagens infalível de x FPS (tal como é exigido em cenografia virtual televisiva) e no segundo conceito o nº de *frames* pode variar em função da cena tridimensional se tornar mais ou menos complexa como acontece durante a fruição de um videojogo.

Neste contexto, a observação das *praxes* permitiu-nos identificar aquilo que designámos por variáveis, visto que a viabilização do *rendering* do projecto cenográfico em tempo-real, dependerá exactamente da forma como variam os parâmetros que abaixo enumeramos:

1. O número de vértices/polígonos utilizados na geometria do modelo cenográfico;
2. O número de materiais/texturas aplicadas no modelo e que o processador consegue carregar mantendo um processamento em tempo-real;
3. O número de luzes (open GL) aplicadas no *software* de *render* em tempo-real;
4. A aplicação ou não de sombras de luz directa;
5. O número de efeitos aplicados tais como *depth of field* ou *anti-aliasing*;
6. O número de *inputs* de vídeo em *loop*, gravados ou emitidos em directo que têm de ser descomprimidos e emitidos em tempo-real juntamente com o *render* do cenário e a qualidade de imagem dos mesmos;
7. O número de *inputs* de som;
8. O número de fotografias, imagens ou texturas estáticas a introduzir sucessivamente durante a emissão;
9. A quantidade de câmaras que vão ser utilizadas no estúdio virtual em função da possibilidade de ter um processador dedicado ou não.
10. O número e complexidade dos grafismos, estáticos ou animados e *branding* aplicados durante a emissão do programa (sendo que a

complexidade e necessidade de utilização de algoritmos de cálculo em alguns casos exigirá mais processamento);³⁷

11. A maior ou menor capacidade da plataforma para ter diversos cenários carregados no GPU, permitindo a troca rápida de cenário em poucos minutos/segundos;
12. O processamento exigido para o cálculo e definição do *chroma-key* em função do nível de rigor com que o mesmo foi configurado.

Esta listagem, foca os aspectos mais importantes para a exequibilidade de qualquer projecto. O *designer* de cenografia virtual tem de estar consciente de que todas estas variáveis terão de ser processadas em tempo-real, isto é, o sistema terá de processar simultaneamente diversos *inputs*, entre eles, cenário virtual, vídeo, som, grafismos, imagem real, etc. O esforço exigido ao sistema terá assim de ser compatibilizado com o *hardware* disponível, depreendendo-se que as variáveis estão elas mesmas dependentes das potencialidades do *hardware* e do *software* mais ou menos bem desenvolvido instalado nas diferentes plataformas. Consoante o fornecedor escolhido e a manutenção e *upgrades* realizados, os diferentes sistemas permitem realizar cenários mais ou menos complexos, alterando-se as variáveis em função umas das outras. Determina-se assim, a razão da qualidade do *render* das actuais consolas de jogos ser superior ao das emissões televisivas com cenografias virtuais. Salvaguardando-se outros aspectos da questão, estas produzem o *render* dos diferentes cenários durante o jogo interactivamente não contabilizando todas as diferentes variáveis que aqui identificamos.

5.1.1 EXEMPLOS PRÁTICOS

De forma a tentar exemplificar de que forma o *designer* de cenografia virtual tem de se habituar a trabalhar com essas variáveis, enumerámos

³⁷ A maior parte dos *softwares* preparados para emissões televisivas permitem criar gráficos que reagem logicamente entre eles, quando um se altera todos os outros se adaptam.

alguns exemplos ilustrativos das limitações e possibilidades da aplicação da técnica.³⁸

- Se o número médio de polígonos permitido pelo sistema fosse de 50.000, este cairia para 10.000 se fossem utilizadas 3 ou 4 luzes directas.
- Se forem aplicados efeitos especiais como chuva ou fumo (texturas processuais), o cálculo dos mesmos exigirá bastante mais do processamento, deixando menos espaço para a descompressão de texturas de vídeo.
- Se tivermos diversos monitores em fundo no cenário, à partida já sabemos que poderá ser uma solução para manter a interactividade utilizar uma geometria mais simples e eliminar a utilização de luzes directas.
- Se tivermos um cenário que é utilizado diversas vezes ao longo do dia modificando-se apenas algumas características, poderá ser necessário trabalhar com objectos escondidos no ficheiro, isto poderá em termos de importação e funcionamento obrigar a repensar o projecto.
- Se modificarmos a configuração da plataforma de forma a que por exemplo apenas dois processadores estejam a gerar o cenário para 4 câmaras reais, é preciso reduzir ao mínimo de elementos desse cenário ou estaremos a arriscar uma falha na geração de imagem em tempo-real.
- No caso de ser necessário dedicar mais processamento ao *rendering* do cenário, é possível através de *software* definir que dois ou mais processadores se dediquem ao mesmo. Imediatamente

³⁸ Os números utilizados são exclusivamente exemplificativos, não querendo fazer a correspondência a nenhuma realidade ou sistema específico.

outro tipo de *inputs* tem de ser diminuído fazendo-se a gestão do processo.

- Sendo possível aplicar efeitos de *anti-aliasing* e de profundidade a sua utilização é extremamente controlada, cenários complexos não suportam a sua utilização em tempo-real. Ao prescindirmos desse tipo de efeito podem-se então realizar cenários mais complexos.³⁹
- Por norma os fornecedores aconselham a utilização de um determinado número de *megabytes* em texturas de imagens, mas na prática pudémos constatar que se podia facilmente aumentar até 3 vezes esse número. Por outro lado, o contrário também sucede e por vezes é preciso reduzir a qualidade das imagens utilizadas como texturas porque aquilo que se esperava do sistema não corresponde à realidade.
- Da mesma forma o número de luzes directas que é possível utilizar na plataforma, geralmente é inferior àquele que supostamente é aconselhado. Sempre que possível (a maior parte dos casos verificados) prefere eliminar-se por completo a sua utilização.
- Devido ao aumento de informação que é necessário dispor no ecrã, os geradores de caracteres tridimensionais tornam-se cada vez mais importantes no tipo de grafismos usados, contudo estes tem de ser actualizados em segundos de acordo com informações *up to date* e prontos para emissão. Tendo-se evoluído hoje da utilização de gráficos 2D para grafismos mais complexos e ricos com interacções, vídeos integrados e som, estes exigem uma parte considerável do processamento, a sua maior ou menor utilização condicionará à partida o projecto do cenário.

³⁹ Na prática, aquilo que as empresas de *software* e sistemas de CV anunciam, segundo a experiência de Nuno Estanqueiro (RTP) e Miguel Baptista (ESCS), acaba por ser apenas parcialmente verdade, pois são bastantes as *features* que apenas podem ser utilizadas através de um apertado controlo das variáveis.

- A utilização de determinados *softwares* que facilitam o trabalho integrando os projectos no *workflow* da estação televisiva, eliminam a necessidade de uma programação directa no *hardware* mas por outro lado sacrificam espaço em disco que de outra forma poderia ser utilizado no processamento em tempo-real dos cenários.
- A necessidade de ter os cenários prontos a ser utilizados em poucos minutos, obriga a que estes ocupem directamente a memória dos GPUs das plataformas do *render engine*. É importante contabilizar à partida o número de cenários que se espera que estejam carregados na plataforma.

A análise destes exemplos leva-nos a concluir que uma boa gestão da plataforma e das variáveis pode aumentar substancialmente as possibilidades da plataforma em uma ou mais variáveis, podendo gerir-se aquela ou aquelas que desejamos potenciar em função do efeito pretendido. De facto, segundo Alexandre Roriz da VANTeC, trata-se de uma aplicação tempo-real e por isso quanto mais se conseguir otimizar a cenografia virtual melhor, baixando a necessidade de ocupar recursos do sistema. De qualquer forma, nos sistemas da ORAD que representa, um *core* pode ser dedicado exclusivamente ao Render Engine, e outro por exemplo a trocar *clips* através de *clipplayer*. O que interessa realmente é fazer parecer com a maior credibilidade possível sem pôr em causa o funcionamento do sistema.

5.1.2 CONSTRANGIMENTOS DITADOS PELA EVOLUÇÃO DO *HARDWARE*

Concentrando-nos na compreensão das limitações que nos surgem pela utilização de *hardware* mais ou menos actual, intuimos na necessidade de investigar a evolução do *hardware*, em particular do processamento gráfico, e na forma como esta afecta a implementação da CV no meio audiovisual.

Segundo nos foi explicado por Miguel Baptista da ESCS, um bom processamento vem dependendo de dois elementos cruciais, a implementação de

um sistema eficiente e a realização de modelos que se adaptem ao funcionamento do sistema implantado. Deste modo, temos que a implementação se deve fazer de acordo com a maneira como os modelos serão realizados, posto que o seu processamento poderá depender mais ou menos do CPU ou do GPU. Partindo do ponto de vista inverso, o tipo de *software* e modelação aplicado deverá adaptar-se o mais possível à melhor utilização do CPU e do GPU integrados. Estas considerações levaram a que nos apercebessemos logo numa fase inicial, que para compreender a melhor forma de tirar partido do sistema é conveniente que o *designer* de cenografia virtual tenha noções não só do *software* que vai utilizar, mas também do tipo de *hardware* que tem disponível e da forma como o processamento dos dados é distribuído pelo mesmo.

Segundo Giles (2008), nos últimos anos a performance dos CPUs tem vindo a duplicar a cada 18-24 meses (Lei de Moore), sendo que o aumento na performance dos GPU's tem sido ainda mais impressionante (Diagrama 4). *Renders* interactivos com uma alta resolução e modelos computacionalmente intensos têm vindo a exigir um poder computacional cada vez maior. A busca de solução para estes problemas, juntamente com a pressão exercida pelo mercado, levou a uma contínua evolução no processamento.

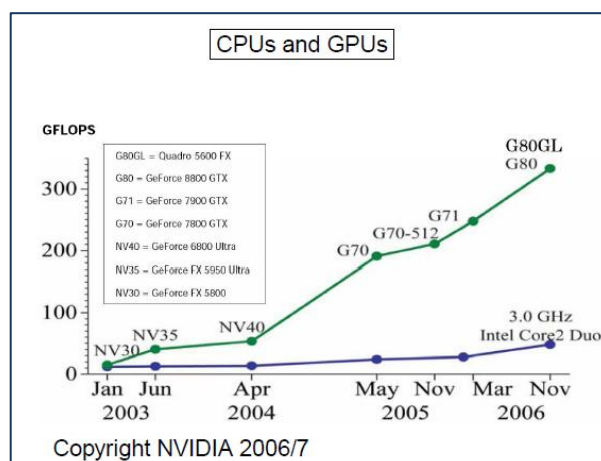


Diagrama 4 – comparação entre a evolução da capacidade de processamento dos CPUs vs GPUs (Giles 2008).

Actualmente assistimos a uma transformação revolucionária na arquitectura dos computadores com a paralelização do processamento introduzida pela utilização de novas placas gráficas tais como a QUADRO ou a TESLA da NVIDIA. A utilização de Open CL ou da API CUDA modificaram por completo as possibilidades dos *render engines* e consegue-se já segundo Nuno Estanqueiro (RTP), vislumbrar a possibilidade de se chegar a um *raytracing* interactivo dentro de alguns anos. Todavia, apesar de se estarem presentemente a realizar as primeiras experiências com placas dedicadas ao *broadcasting* como a NVIDIA® *Quadro® Digital Video Pipeline*⁴⁰, a implementação faz-se a um ritmo lento uma vez que a sua introdução implica não só grandes investimentos como um elevado número de modificações a todos os níveis do processo de realização de cenografias virtuais.

Neste momento a empresa Brainstorm já começou a explorar as possibilidades destas novas placas (Priscaro 2010), enquanto a ORAD prefere segundo Alexandre Roriz (VANTeC) continuar a usar as já bem testadas G-Forces, não arriscando falhas num sistema que se defende a si próprio exactamente pela sua infabilidade nas emissões em directo. O problema põe-se que para a empresa é importante manter a estabilidade, como tal as placas que ainda não tenham provado a sua estabilidade não são utilizadas enquanto não forem exploradas todas as vantagens e ineficiências. O objectivo é que o processo seja absolutamente controlado. Afirma ainda que a passagem para uma linguagem com processamento em paralelo levará a toda a reestruturação do sistema, e que esta já está a ser desenvolvida pelos *developers* da ORAD em conjunto com a NVIDIA.

O primeiro e mais óbvio constrangimento agregado à evolução do *hardware*, relaciona-se directamente com o investimento necessário à implantação

⁴⁰ “A NVIDIA Quadro é o processador eleito para os nossos sistemas de geração de gráficos 2D e 3D” disse Gerhard Lang, engenheiro-chefe da Vizrt. “O novo Viz Engine suporta o NVIDIA Quadro Digital Video Pipeline e o acesso directo à GPU da NVIDIA GPU dá-nos a possibilidade de compor cenas 3D mais complexas com um nível de detalhe mais elevado sem latência adicional” (*NVIDIA Quadro Digital Video Pipeline proporciona produção televisiva 3D completa em tempo-real*, 2010).

do *render engine*, à sua manutenção e constante *upgrade*. Se por um lado já em 2000 na exposição anual da NAB (National Association of Broadcasters) a técnica foi dada como estável, podendo ser utilizada com a maior segurança, era certo que um sistema destes só poderia ser implantado se se conseguisse tirar lucro do investimento associado (Fox © 2000-2003 urbanfox.tv). Segundo António Polainas (1998), responsável pelo gabinete de Cenografia e Cenografia Virtual da RTP, antes mesmo da implementação dos sistemas de CV já o cenógrafo tinha de ter consciência de que todos os seus projectos apenas se tornam exequíveis no momento em que de alguma forma contribuissem para a sustentabilidade da estação.

A evolução das televisões públicas ou privadas assentou não só na produção de programas diários específicos dos seus canais como também na comercialização de programas, como consequência as estratégias de produção vizam sempre obter o melhor resultado com o menor custo, onde a optimização do *ratio* custo/tempo de emissão e a sua relação com o *share* de audiência é algo que os directores têm de ter em conta e consequentemente o cenógrafo televisivo também (Polainas 1998, pp. 25-26).

Para Miguel Baptista da ESCS, aos poucos a estética da cenografia virtual começou a impor-se às televisões levando à “quase” obrigatoriedade de investir num sistema de CV para se conseguir acompanhar o desenvolvimento das suas concorrentes. Assistindo-se mundialmente à transformação da máquina cenográfica televisiva para o virtual, quer pelas suas possibilidades lucrativas como pelas suas possibilidades estéticas, da constante evolução do *hardware* e *software* associado fica implícita a necessidade de acompanhar essas evoluções investindo regularmente nas novas possibilidades do sistema.

As the systems become cheaper and more powerful, he⁴¹ expects the cost of building a virtual environment to become less of an issue. All that is needed is for producers who are willing to push it to its limits and be adventurous (Fox, © 2000-2003).

As palavras de Fox remetem-nos para o início da década, contudo, segundo Vitor Duarte (SIC), no dia-a-dia vemos que os orçamentos disponíveis nas

⁴¹ Referindo-se a Mike Jarvie, *manager* do departamento da BBC de *virtual reality development*.

televisões, não conseguem monetariamente fazer face às actualizações disponibilizadas pelas empresas fornecedoras. O re-investimento faz-se sobretudo, em função das compensações decorrentes da eliminação da utilização de cenários físicos e sua manutenção durante determinado período de tempo.

A segunda questão, ainda segundo Duarte, prende-se com o facto do *broadcasting* ser um sistema que está em emissão permanente tornando todos os *upgrades* em situações extremamente complexas. A paragem do sistema no caso de emissoras como a SIC, que emitem quase na totalidade das 24h por dia, tornam o *upgrade* extremamente difícil de realizar.⁴² Mais afirma, que o problema passa-se não só a nível de renovação física das máquinas, como também da adaptação dos projectos aos *upgrades* realizados. O facto de se gerarem incompatibilidades de cada vez que se actualiza o sistema faz com que todos os cenários precisem de ser adaptados ao novo *software* e *hardware*. São necessárias muitas horas de trabalho na reestruturação, horas que nem sempre existem no esquema de trabalho de uma estação televisiva.

Quer no sistema da ORAD, quer no sistema da Brainstorm, uma actualização pode implicar que todo o processo de importação e aplicação de materiais e texturas tenha de ser repetido. Exemplificando, temos que apesar de ter sido instalada uma plataforma da ORAD nas instalações da RTP Porto de capacidades superiores às das instaladas em Lisboa, para que os cenários já realizados corresse na nova plataforma foi preciso calibrar a plataforma abaixo das suas capacidades até que se realizassem todas as adaptações ao novo *upgrade* (Estanqueiro, RTP).

Neste problema, temos ainda que o tipo de apoio e continuidade dos sistemas dado pelos fornecedores se revela importante no momento de escolha do sistema. Empresas como a Viz (Virzt) e a BrainStorm obtém excelentes resultados, possivelmente superiores à ORAD em algumas características, nomeadamente a 1ª a nível dos grafismos e a 2ª a nível do *render*. No entanto, as mesmas dependem de estações gráficas convencionais do mercado, não

⁴² No caso da SIC o sistema está em funcionamento ininterrupto desde 2007.

oferecendo segundo Roriz a mesma estabilidade de uma plataforma dedicada. Na sua perspectiva, a integração de marcas como a HP ou Dell, apesar da sua qualidade, não conseguem atingir o grau de otimização de uma plataforma planeada e configurada exclusivamente para a indústria do *broadcasting* como a da ORAD. Estes últimos estão preparados para trabalhar com mais *inputs* de vídeo e com mais qualidade de vídeo, entre outras características próprias para a televisão que a ORAD oferece. Para o pessoal técnico tudo fica simplificado na utilização diária, uma vez que os HDVGs (processadores) estão preparados para fazer as ligações próprias de uma estação televisiva. Afirma ainda que destas plataformas espera-se que ofereçam sobretudo uma estabilidade e usabilidade fiável e um sólido apoio por parte do fornecedor, onde a resposta a problemas que possam surgir deve ser o mais rápida possível. Caberá à emissora ponderar se o investimento numa plataforma ORAD, mais dispendiosa que as suas concorrentes, valerá a pena em função das reais necessidades e características da emissora. No caso de o nível de produção a retirar da plataforma ser reduzido, é natural que o sistema escolhido seja proporcionalmente menos dispendioso sacrificando-se algumas das características disponíveis nestas plataformas.

Por último e ainda dentro desta problemática, salienta-se que o *upgrade* das plataformas de CV implicam geralmente uma nova aprendizagem por parte das pessoas envolvidas no processo das técnicas de trabalho agregadas ao novo *software*. Neste caso a formação disponibilizada pelos fornecedores é de extrema importância para a rápida implementação do *upgrade*.

A atender na identificação das características do *hardware* utilizado, pudemos auferir que as placas gráficas utilizadas nas diferentes plataformas são G-Forces da NVIDIA especialmente desenvolvidas para trabalhar com *pixel* e *vector shaders* em tempo-real (Roriz & Baptista). São placas que processam algoritmos muito rapidamente se aplicadas as técnicas de modelação desenvolvidas para este tipo de processamento, tais como o mapeamento de texturas sobre modelação *lowpoly*. Contudo as capacidades destas placas podem ainda ser melhor exploradas no momento em que o *software* aplicado no *render*

das cenografias em tempo-real permita a aplicação de *shaders* complexos entre outro tipo de aplicações.

Segundo Miguel Baptista (ESCS), muitas vezes é o próprio *software* que limita as possibilidades do *hardware*, daí a importância da existência de um *developer* que saiba como estender as capacidades do mesmo. Contudo, na prática ter mais uma pessoa para essa tarefa não se torna viável uma vez que o *software* já permite obter resultados muito diversificados e em última instância quanto menos custos houver melhor. No caso da WTVision que trabalha com sistema da ORAD estes desenvolveram pequenos comandos que automatizam os grafismos necessários na ilustração dos *replays* de eventos desportivos, mas esta é mais a excepção do que a regra. No caso do eStudio, programa de *render* da Brainstorm, é possível programar determinadas acções dentro do cenário de forma simples com um *interface* do género *drag and drop*, podendo imediatamente visualizar-se o código correspondente na linguagem *python*. Um *developer* ou mesmo um modelador com experiência que domine a linguagem facilmente tem a possibilidade de estender as capacidades deste *software*. No caso do 3Designer da ORAD ou do Viz Virtual Studio, o *software* é mais fechado, novas *features* têm de ser requisitadas e pagas de forma diferenciada. Segundo Estanqueiro (RTP) se o sistema fosse mais aberto o *developer* poderia desenhar os diversos comandos programando directamente no *hardware* a realização de determinadas tarefas.

Outra característica fundamental dos *render engine* utilizados nestas plataformas, assenta no facto de o *hardware* utilizado possuir uma arquitectura desenvolvida para satisfazer a necessidade de processar grandes volumes de dados. Tentámos então verificar se o aumento da capacidade de armazenamento local de dados poderia aumentar as possibilidades do sistema. Quando o armazenamento local de dados do sistema não for suficiente, coloca-se a necessidade de obter dados remotamente, a partir de outros sistemas, podendo tornar o processo mais lento. Assim, apenas se considera que esta característica esteja directamente relacionada com a velocidade de *rendering*, na perspectiva de que quanto mais rapidamente os dados estiverem disponíveis mais rápido é o processo de geração de imagem. Se não houver largura de banda suficiente para

se disponibilizarem os dados a tempo de se completarem os cálculos, então esse aumento na capacidade de armazenamento de dados poderá não surtir qualquer efeito sobre a *performance do render engine* .

Por último, temos que entre as limitações impostas pelo *hardware*, os recursos exigidos no manuseamento dos *inputs* de vídeo está directamente ligado à necessidade da sua descompressão de forma a poderem serem emitidos. Mesmo que não ocupem muito processamento à partida, os vídeos quando carregados e transformados para emissão, segundo Estaqueiro (RTP) exercem uma grande pressão no processamento disponível. O tamanho das texturas utilizáveis e a quantidade de MB que se podem utilizar estão também não só relacionados com o limite de memória mas também da placa gráfica que as processa.

O futuro trará aos poucos o fim de todas estas limitações que agora se colocam. Porventura, mesmo que se chegue a um *raytracing* em tempo-real através dos sistemas de processamento em paralelo e da utilização de linguagens como o open CL, outro tipo de limitações surgirão que terão novamente de ser contornadas. Empresas como a Octane fornecem já juntamente com o seu *software* a possibilidade de adquirir autênticos super-computadores com diversos GPU's a funcionar em paralelo, acelerando o processo de *render* exponencialmente e abrindo uma janela para aquilo que será para o *designer* de cenografia virtual modelar com *rendering* fotográfico em tempo-real.

Concluimos que o impulsionamento da técnica a nível do meio audiovisual, tem no mercado um papel crucial. A competitividade pelo *sharing* maior acaba por ter mais influência que outros parâmetros na forma como se processa a evolução. Contudo, continuam a ser importantes o contributo não apenas de visionários como James Cameron, mas também de projectos de investigação que possam fazer a ponte entre a evolução do *hardware*, a concepção de *softwares* dedicados e a sua adaptação específica à tecnologia de Cenografia Virtual televisiva.

5.2 LIMITAÇÕES DO ESTÚDIO E DE REALIZAÇÃO

Se no início para se conseguir realizar o *rendering* um cenário virtual em tempo-real o modelo era dividido em diversas partes da cena ou em posições de câmara diferentes, hoje em dia esse tipo de condicionantes fazem parte do passado. Na realidade, a geometria do cenário em cada *take* tinha de ser reduzida até ao ponto em que a *workstation* disponível tinha capacidade de render as imagens em tempo-real (Lacombe 1998). Hoje em dia, é possível a cada câmara associar uma plataforma de *render*, trocar em qualquer momento de câmara e realizar encadeamentos entre as diferentes imagens captadas.

Para que o realizador tenha acesso na *régie* às imagens compostas na realização do programa e fazer um correcto enquadramento, o sistema está constantemente a fazer o *rendering* das vistas necessárias às diferentes câmaras. Questionado Roriz (VANTeC), em relação ao facto de se poder utilizar o processamento disponível para gerir o *render* apenas da vista do cenário que está a ser utilizada, em detrimento de reunir mais processamento para realizar o *rendering* de um cenário mais complexo, o mesmo afirmou que a velocidade a que tudo se processa hoje em dia já não permite o experimentalismo de outrora. No princípio tudo era realizado sem haver a noção do *output* final e a experiência era realmente muito importante assim como a pré-preparação. No momento em que o realizador passou a ter o controlo total sobre o *output*, dar o passo atrás deslocando processamento para outras funções é algo que apenas poderia ser aceite pela equipa técnica em situações excepcionais. Tornou-se um *must*, num processo televisivo em que o sistema é utilizado de forma rotineira, sem intervalos, sem pré-preparação, para o realizador é como se realmente existisse um cenário real. Apenas no caso de haver uma pré-programação pode fazer sentido, mas a verdade é que a maneira como tudo se processa nas estações televisivas de hoje levou a uma total adaptação da técnica ao seu funcionamento.

Em relação aos diferentes estúdios que pudemos observar, todos tinham características bastante diferentes, apresentando particularidades próprias da sua instalação. Antes de começar a projectar é preciso ter a noção dessas

mesmas diferenças que surgem pela utilização de um ou outro fornecedor da tecnologia, pela dimensão dos estúdios e pelo rigor com que os mesmos são construídos.

Exemplificando, temos que a construção do estúdio da SIC, dividido em duas partes físico e virtual, é assistido por um motor que transforma o cenário físico em parcialmente virtual. A decisão da construção de um estúdio com estas características prendeu-se tanto por razões criativas, como pelas necessidades de produção com mudanças muito rápidas no cenário, por vezes de apenas alguns minutos. Pudemos então observar, localmente, que as condições em que o ciclorama de parte do cenário foi instalado estariam temporariamente a impedir uma boa captação das sombras, levando à utilização de diversos truques por parte dos modeladores para encobrir essa dificuldade. A sua utilização intensiva tem adiado a correcção deste problema. Algo que o *designer* virtual deve contabilizar nos seus projectos, raramente as condições “ideais” se encontram reunidas.

Na ESCS temos um pequeno estúdio com um ciclorama em L, três câmaras com *tracking*, entre elas uma com sensor mecânico e duas com o sistema *free-d*. Este último, sistema de *tracking*, o *free-d*, traz inúmeras vantagens na sua aplicação em estúdios de grandes dimensões, no entanto se o sensor mecânico é extremamente exacto e preciso, o *free-d* tem algumas falhas em determinadas zonas do cenário (ver Fig. 86). Estas falhas podem tornar-se imperceptíveis através de um bom projecto virtual.



Fig. 86a/86b/86c – Sistema de *tracking* instalado no estúdio virtual da ESCS onde dois tipos de *tracking* são utilizados: a) *tracking* por sensor mecânico; b) e c) o sistema *free-d* (ver Capítulo II, secção 2.3.4) (fotografias disponibilizadas por Miguel Baptista da ESCS).

A RTP possui já dois estúdios virtuais, um em Lisboa de dimensões médias e um recentemente inaugurado no Porto de grandes dimensões. Considerado um dos maiores estúdios virtuais da Península Ibérica (com 110 m² e dois *plateaux*) é o único fora de Lisboa que fez a transposição do analógico para o digital. Ambos utilizam *tracking* por infra-vermelhos, no entanto, este sistema inviabiliza a possibilidade de se utilizarem luzes quentes pela necessidade de se manter uma temperatura constante que não interfira com a captação de dados por infra-vermelhos. Para se dar a ilusão de um ambiente mais quente torna-se necessário utilizar filtros e/ou simular luz quente no cenário virtual.



Fig. 87a/87b/87c/87d – a) e b) Estúdio virtual da RTP Porto, em forma de um U fechado, além de ser o maior em Portugal utilizado em CV televisiva, é o primeiro a ter características extremamente envolventes, aumentando não só as possibilidades criativas do *designer* virtual e da forma de realização, mas também diversificando as possibilidades de movimentação das pessoas dentro do cenário; c) e d) Estúdio Virtual da Sic, parcialmente físico, parcialmente virtual, as suas características permitem realizar um leque variado de opções criativas (a) Estúdio Virtual da RTP Porto foi tratado pela VICOUSTIC, © 2008-2010 TuGuitarras; b) Pires 2010; c) e d) PanoramaAudiovisual.com, © 2009-2010 Panorama Audiovisua).

Outra das questões importantes que se põem na instalação de um estúdio virtual, relaciona-se directamente com problema de se integrarem

diferentes marcas aquando da aquisição da tecnologia. Geram-se por vezes incompatibilidades difíceis de definir (e.g. problemas de integração e sincronização), levando a que seja necessário um período de afinação do sistema até que se consiga emitir com qualidade, dominando as particularidades de cada instalação.

Não obstante, para o *designer*, é importante notar que cada estúdio e cada sistema implantado tem as suas condicionantes e limitações próprias, e que estas devem ser identificadas à partida, de forma a que este se possa familiarizar com elas antes de se iniciar qualquer tipo de projecto virtual.

5.3 LIMITAÇÕES DE TEMPO

Com base nas análises e estudos realizados, foi possível identificar um conjunto de sete etapas entre o processo de concepção dos modelos virtuais até ao produto final a ser emitido:

- Encomenda do cenário virtual para um determinado programa televisivo;
- Desenvolvimento das linhas criativas do projecto;
- Concepção e aprovação do modelo para o cenário virtual;
- Importação do modelo aprovado para as plataformas de *render* em tempo-real;
- Geração do *render* em tempo-real do modelo pelo *hardware* disponível para realização dos programas;
- Realização do programa televisivo “real” num estúdio devidamente preparado para a captação das imagens pela técnica de *chroma-key*;
- Sincronização das imagens geradas a partir do cenário virtual com as imagens captadas em estúdio;

Sendo que as últimas três etapas em produção televisiva funcionam quase sempre em simultâneo.

A todo este processo está associada uma linha temporal, que entre actos e funções decisivas tem de ser gerida pelo *designer* de cenografia virtual. O objectivo será conseguir no seu enquadramento metodológico respeitar a maneira como cada estação televisiva define quais os programas que beneficiarão da utilização de Cenografia Virtual e o intervalo de tempo designado até que o programa seja emitido. De igual forma, o *designer* de cenografia virtual deverá ter em conta os tempos necessários à interacção com os diferentes departamentos e elementos que participam no processo. Entre estes estão a direcção de informação e programas ou entidade produtora, as preferências dos clientes, o departamento de design de grafismos, o departamento técnico e de iluminação do estúdio, o realizador, o gabinete de cenografia e de modelação, o *pivot* e os possíveis convidados e participantes.

No que respeito à modelação do cenário propriamente dito pudemos apurar que o factor tempo está fortemente associado às técnicas de modelação utilizadas e à capacidade dos computadores utilizados na criação dos modelos. Posto isto, o tempo disponível para a realização do projecto estará à partida condicionado não só pelo *timing* disponível para a sua execução, mas também pela velocidade de processamento dos computadores. O investimento constante das estações televisivas no *upgrade* destas máquinas revelou-se uma peça chave na tomada de decisões ao longo do projecto, aumentando claramente as possibilidades criativas no pré-cálculo de texturas, sombras e iluminação, pela diminuição do tempo de trabalho dispendido na execução dos projectos. Durante a investigação foi possível avaliar que por este tipo de *upgrade* ser mais fácil de implantar, tem sido realizado de forma mais amiúde nas máquinas utilizadas pelo *designer* de CV televisiva.

5.4 LIMITAÇÕES DA FORMAÇÃO

Se por um lado o facto de a maior parte das entidades/estações televisivas já utilizar programas de modelação tridimensional para a criação de

cenários reais facilitou o processo de introdução de modelação de cenários virtuais, a adaptação foi mais ou menos difícil porquanto os novos *designers* de CV tinham um histórico profissional associado à arquitectura, à produção televisiva, ao teatro, ao design de interiores ou de produto. A inexistência de documentação específica que o auxiliasse a fazer uma transposição das técnicas aprendidas para o tipo de limitações impostas pela tecnologia, transformaram o processo num acto de contínua experiência com muitos avanços e recuos, e claro com um elevado número de horas perdidas num tipo de projecto que funciona ainda hoje por tentativa e erro. Assim, consideramos que, antes de mais, o *designer* de CV passa por uma fase de adaptação às etapas fundamentais de concepção de uma cenografia virtual, realizando uma consciencialização e interiorização gradual do processo, aprendendo a controlar todas as fases do seu processo criativo.

Através da investigação, rapidamente nos apercebemos que de uma modelação tridimensional bem realizada dependerá a qualidade final e exequibilidade do projecto cenográfico. Igualmente verificámos que a maneira como se modelam os cenários virtuais depende muito dos profissionais envolvidos. Geralmente o criativo que vem do design de produto, projecto de interiores ou arquitectura está habituado a modelar com muitos polígonos, e um modelador 3D está habituado a funcionar com poucos. Depreende-se, então, que será de suma importância o tipo de formação em modelação 3D que o cenógrafo tenha adquirido antes da sua integração na estação televisiva.

Outro tipo de limitações impostas pelo tipo de formação dos *designers* de cenografias virtuais, relacionar-se-á com a escolha do programa de modelação a implementar. Se a solução pode ter origens diversas, como a compatibilização com o tipo de *software* utilizado nas plataformas de *rendering* em tempo-real ou questões de ordem económica, poderá também estar relacionada com a formação da equipa cenográfica. A título exemplificativo, a utilização do Blender, *software* com o qual ambos criativos já trabalhavam, em detrimento de outros como o 3dsMax ou o Maya revelou-se excelente quer para Nuno Estanqueiro (RTP) quer para Miguel Baptista (ESCS). Sendo um *open source* diminui os custos acrescidos à estação televisiva e à escola com a aquisição e

manutenção do *software*, permitindo-lhe dirigir esses recursos para outro tipo de investimento. O Blender realiza o mesmo tipo de tarefas que são exigidas neste tipo de modelação, e exporta igualmente bem em VRML e .obj entre outros formatos aceites pelas plataformas para realizar o rendering de CV em tempo-real.

Pudemos ainda verificar entre os diferentes profissionais envolvidos no processo, que existem poucos cursos e pouca informação, tudo é realizado um pouco por intuição, não existindo quase nenhum material escrito de apoio. Os mesmos afirmam que só no contacto diário com as diferentes plataformas é que se consegue realmente descobrir em profundidade as possibilidades e limitações de cada sistema. O apoio dado resume-se a alguma formação dada pelas empresas que fornecem os sistemas de *render* em tempo-real e aos seus manuais, deixando muitas questões por responder.⁴³ Muitos são os parâmetros envolvidos e na prática, quando alguma coisa corre mal só o profissional experiente consegue detectar de onde vem o problema para que possa ser corrigido. A familiaridade que se vai ganhando em relação ao sistema acaba por ser essencial para a estabilidade da plataforma.

Segundo Estanqueiro (RTP), a bibliografia adequada para um *designer* que esteja a aprender a modelar cenografia virtual, encontra-se entre o material disponível para aprender a modelar videojogos realistas ou nos manuais dos programas utilizados na modelação. Diz ainda, que pelo facto dos manuais das plataformas geralmente serem insuficientes é sempre necessário que o *designer* proceda a algum estudo individual a nível de modelação com limitações para tempo-real. Contudo, este terá de ter em conta que não se aplica o *best effort* produzido no *render* conhecido por *on the fly* dos videojogos, mas sim um *render* infalível de n número de *frames*, correspondentes ao sistema de emissão escolhido.

⁴³ Segundo Baptista, aquando da instalação da plataforma de CV na ESCS, a formação assentou basicamente no facto dos responsáveis da Brainstorm enviarem um formador, que durante uma semana trabalhou directamente ensinando as diferentes possibilidades de *software* e quais as suas limitações. Este trouxe inúmeros exemplos consigo, o que ajudou bastante a ter uma noção do tipo de limitações que seriam impostas pelo nível de complexidade do cenário. Em relação a como modelar não havia qualquer tipo de explicação assumindo-se à partida que os modeladores saberiam modelar *lowpoly*, *baked textures* e todos os truques que se utilizam em CV.

Capítulo VI Modelação em projectos de cenografia virtual

Avaliando o primeiro capítulo relativo às condicionantes e adaptações ao funcionamento de uma estação televisiva, constatamos que a execução do projecto inserida neste contexto tornou o processo de concepção de uma cenografia virtual algo muito mais limitado do que à partida o próprio conceito poderia sugerir. Se por um lado é realmente possível construir mundos complexos como os que podemos observar recentemente no filme *Avatar*, a verdade é que para a grande parte das suas utilizações como sejam todas as que exijam processamento em tempo-real, e em especial em Cenografia Virtual televisiva, as limitações são extremamente apertadas exigindo ao *designer* toda uma reaprendizagem na forma de projectar. Em 1999, Devlin alertava exactamente para essa realidade: '[w]hen you're faced with a tool or technology that has the potential to do what you do, only better, you learn how to use it, and you learn how to use it fast (Devlin cit. Doyle 1999)'.

A investigação revelou-nos que, tal como para a construção dos mundos virtuais dos videojogos, as técnicas aplicáveis em tempo-real estão longe das técnicas que copiam fielmente as leis físicas (*Global Illumination* e *ray tracing*) e continuam a assentar na arte de enganar por sugestão através de cálculos aproximados. Um sem número de algoritmos são desenvolvidos continuamente no sentido de tirar partido das plataformas de *render* actuais, especialmente preparadas para funcionarem segundo este tipo de cálculos. Estes algoritmos em conjunto com as novas técnicas de processamento em paralelo produzem resultados impressionantes em tempo-real.

Observou-se que as técnicas aplicadas na produção de imagens pela indústria dos *videogames* têm estado sempre na vanguarda em relação à maximização das possibilidades das plataformas existentes. Continuamente vemos qualidade e desempenho crescerem proporcionalmente ao aumento da capacidade do *hardware*. O número de polígonos que podem ser utilizados aumenta, utilizam-se *shaders* mais complexos, a resolução é cada vez maior, há

mais e melhor *antialiasing*, o *streaming*⁴⁴ torna-se mais complexo e a iluminação melhora a todos os níveis, especialmente no que respeita às fontes de luz dinâmicas (Schamel 2006).



Fig. 88a/88b - Imagens retiradas do videogame Mass Effect 2 (Janeiro 2010): a) *footage*; b) *on the fly* (Mass Effect 2 Review: The Good Shepard, 2010 & Peter 2010).

Analisando as diferentes hipóteses de modelação exploradas na sua produção, foi possível encontrar as técnicas que melhor se adequam à realidade das estações televisivas, pelo que nesta secção fazemos uma apresentação sumária e orientadora das mesmas. Compreenda-se a exaustiva exposição de diferentes técnicas mais ou menos complexas, exigindo mais ou menos processamento no Apêndice F da dissertação, com o objectivo de consciencializar o *designer* das ferramentas que pode e deve utilizar na modelação actual e prepará-lo também para um futuro próximo onde técnicas mais complexas passarão a ser a sua realidade projectual.

Presentemente, o *designer* de CV deve aprender a aplicar as técnicas possíveis mediante a plataforma disponível, mesmo que estas correspondam a um estágio correspondente à fase dos *videogames* de 8 ou 10 anos atrás. O domínio das técnicas torna-se então essencial para conseguir enganar o espectador através da construção de uma imagem tão credível quanto possível. Se o *raytracing* em tempo-real se encontra já no horizonte, o seu desenvolvimento e aplicação está ainda muito longe de poder chegar ao público e mais ainda ao *broadcasting* a nível nacional e internacional. Prevêem os peritos, que

⁴⁴ O *download* de videojogos e respectivas expansões, é uma das possibilidades do *streaming*, no entanto, ele é utilizado em diversas outras áreas. A forma como os dados são comprimidos e enviados é um dos temas de maior desenvolvimento na actualidade .

ainda durante muitos anos se seguirão sucessivos *upgrades* nas plataformas para televisão que aumentarão as suas capacidades de ano para ano, elevando a qualidade das imagens conseguidas àquela que é hoje a qualidade das imagens obtidas em tempo-real na concepção de videojogos de última geração, aproximando-se assim cada vez mais da qualidade do *raytracing*.

Neste capítulo enumeram-se as técnicas identificadas durante o contacto directo com as realidades das duas estações televisivas e projectos desenvolvidos na ESCS, assim como aquelas que julgámos após a investigação passíveis de uma fácil integração dentro das plataformas utilizadas. Será no capítulo VII desta parte, que se identificam as técnicas e especificidades utilizadas na compatibilização dos modelos 3D com as plataformas de *render* em tempo-real.

6.1 MODELAÇÃO TRIDIMENSIONAL

Antes de iniciar o processo de modelação tridimensional de uma cenografia virtual, é importante referir que o *designer* realiza o seu modelo sabendo à partida que um erro na sua construção poderá pôr em causa a exequibilidade do projecto: '[i]f I build one bad polygon in my model, if it has inverted faces, or if it is coplanar with another one, then that may prevent my set from rendering in real time (Suhre cit. Doyle 1999)'. Ao contrário de modelações tridimensionais destinada a outros fins, exige-se um tipo de modelação bem apoiado em técnicas específicas.

Assim sendo, primeiramente é realizada a escolha do *software* a utilizar na modelação, este pode ser 3ds Max, cinema 4D, Blender, etc, na realidade podem ser utilizados quaisquer outros *softwares* desde que gerem um formato compatível com as plataformas. Na realidade, sabendo-se trabalhar agilmente com os processos de importação de ficheiros, é possível utilizar mais do que um *software* para a modelação do cenário explorando as melhores *features* de cada um ou ainda os inúmeros *plug-ins* disponíveis, mesmo que a utilização

destes últimos tenha os seus limites no que respeita à importação e que devem ser considerados. Como exemplo de uma utilização diversificada de *software* temos a utilização do 3ds Max para modelação (ver Fig. 89), do Lightscape na iluminação, V-Ray para *baked textures* e do Photoshop para a correcção de texturas.

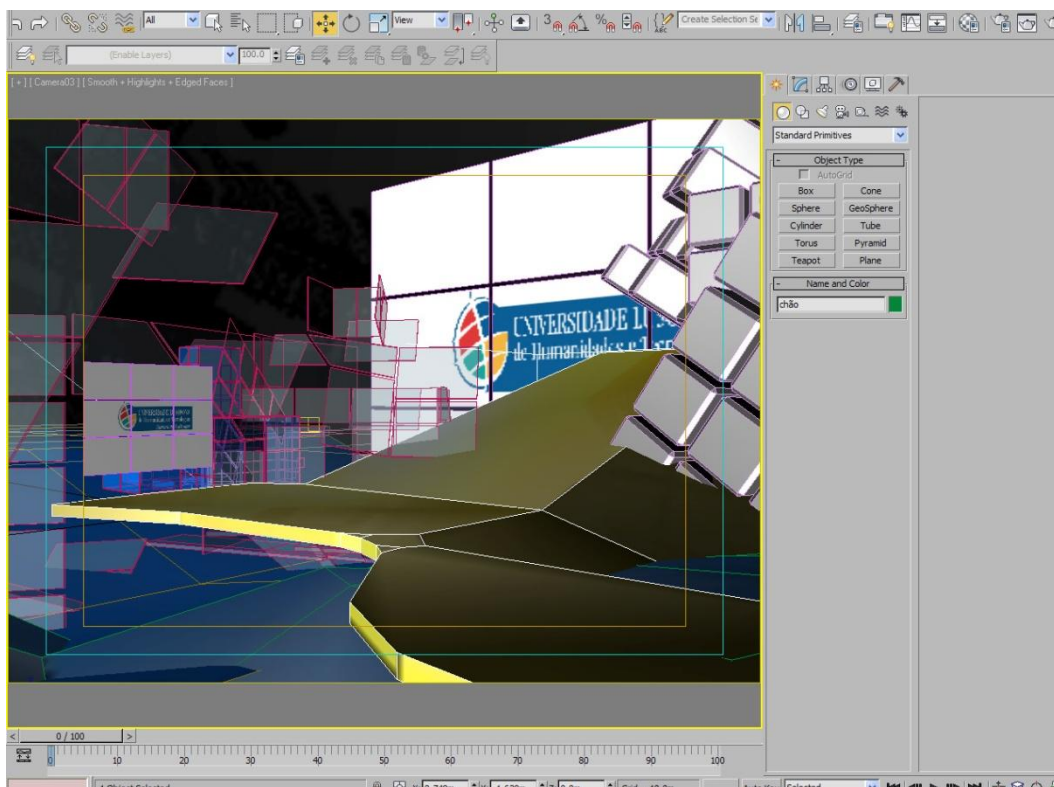


Fig. 89 – Cenário Virtual realizado em 2006 para a Univ. Lusófona em 3DS max com modelação de Filipe Costa Luz (imagem disponibilizada pelo autor).

Segundo Nuno Estanqueiro (RTP), a escolha de uma modelação poligonal em detrimento de uma modelação com *splines* e NURBS é obrigatória, uma vez que todo o sistema está preparado para o processamento rápido de polígonos. Apesar da conversão de NURBS em polígonos ser possível, resultam sempre em malhas demasiado complexas que na simplificação poderão perder grande parte da expressão inicial. Assim, são sempre preferíveis os modelos construídos com poucos polígonos (*lowpoly*) e aos quais, sendo necessário, pode ser aplicada uma bem planeada subdivisão de superfícies.

O método de modelação por subdivisão de superfícies grangeou uma grande popularidade na modelação de superfícies curvas nos últimos anos, sendo frequentemente combinada com a técnica de *displacement mapping* para adição de detalhes. Por serem malhas poligonais simples controladas por algumas regras de subdivisão (Catmull-Clarck, Doo Sabin, etc) são extremamente úteis para a necessária execução de dois modelos com menos ou mais polígonos (Bunnell 2005a). O primeiro modelo é utilizado no *render* em tempo-real, enquanto o segundo serve à realização das *baked textures* que por sua vez são aplicadas no modelo *lowpoly* (ver Fig. 90). Paralelamente esta técnica quando aplicada selectivamente a apenas algumas partes do modelo permite realizar modelações de melhor qualidade nas zonas curvas sem ser necessário aumentar exageradamente o número de polígonos.

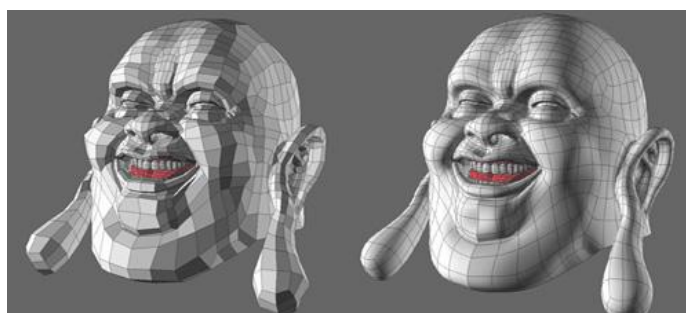


Fig. 90 - A modelação por subdivisão permite a criação de um modelo poligonal que actua como uma “matriz” à qual corresponde a estrutura de um modelo subdividido mais suave. Quando se faz o *render* apenas a versão mais suave é tida em conta. Esta técnica é conseguida através de algoritmos, rotinas matemáticas que constroem a superfície suave (subdivisionmodeling.com, n.d.).

Na modelação podemos escolher entre o diverso leque de ferramentas disponíveis com polígonos existentes nos diferentes programas. Pode-se partir de uma modelação polígono a polígono, utilizarem-se primitivas simples ou complexas,⁴⁵ aplicar modificações e transformações e manipular os polígonos. Utilizam-se ainda *patches*, *splines* e NURBS para gerar malhas de polígonos ou transformar as malhas de polígonos com base nas suas formas. A modelação de

⁴⁵ Excluem-se as primitivas paramétricas uma vez que a animação que resulta da evolução da primitiva (torus knot, hedra, etc) não é assumida durante a importação, apenas a sua geometria inicial é considerada.

objectos compostos por operações booleanas é outra das formas de modelação, sendo necessário dar especial atenção às zonas de união das malhas pois podem surgir problemas decorrentes da aplicação deste tipo de operação.

Segundo Aranha e Calheiros da SIC, devido à formação dos actuais *designers* de CV, grande parte das vezes o modelo é criado livremente sem limite de polígonos e depois é segundo as palavras dos modeladores “limpo”, isto é, reduzido até ao nível de polígonos que o *render engine* pode suportar. Geralmente este processo exige mais tempo de execução e pode resultar em que algumas partes do cenário (especialmente se curvas) não tenham polígonos suficientes para encobrir o carácter virtual do projecto. A redução de polígonos é realizada em função do factor *tempo*. Havendo disponibilidade a redução é feita manualmente directamente sobre a malha (por vezes sobre uma redução automática inicial ligeira; se por outro lado o tempo disponível for muito limitado é feita uma redução automática que poderá destruir alguns dos pormenores planeados pelo *designer* de CV (ver Fig. 91). Dependendo do tipo de projecto, também se pode trabalhar exclusivamente com modelos *lowpoly*.

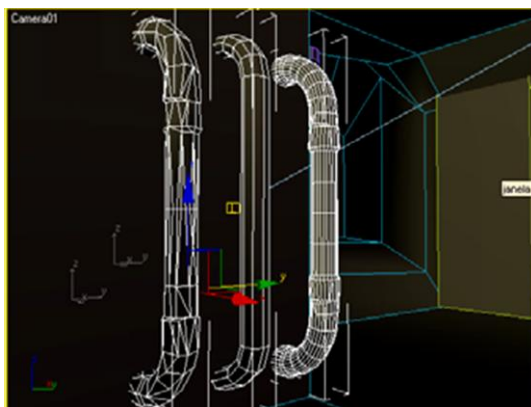


Fig. 91 - Nesta imagem o modelo tridimensional do tubo do lado direito apresenta 1520 polígonos. No tubo à esquerda a optimização de polígonos foi feita por uma ferramenta do programa e o resultado não foi satisfatório, demasiados polígonos (444) e superfícies deformadas. Através de uma redução manual foi possível reduzir o modelo a 108 polígonos (tubo central), eliminando-se faces desnecessárias (incluindo as que não se encontram visíveis)(Luz 2006c).

Outra das técnicas mais comuns na optimização da quantidade de polígonos para *rendering* em tempo-real, baseia-se na substituição total da geometria por imagens. Em determinadas situações em que o tipo de realização sobre o cenário virtual não denuncia as reais formas geométricas dos elementos que o compõem, é possível fazer um *render* prévio de parte da geometria e substituí-la por uma só imagem aplicada sobre poucos polígonos ou mesmo apenas num só polígono (ver Fig. 92).

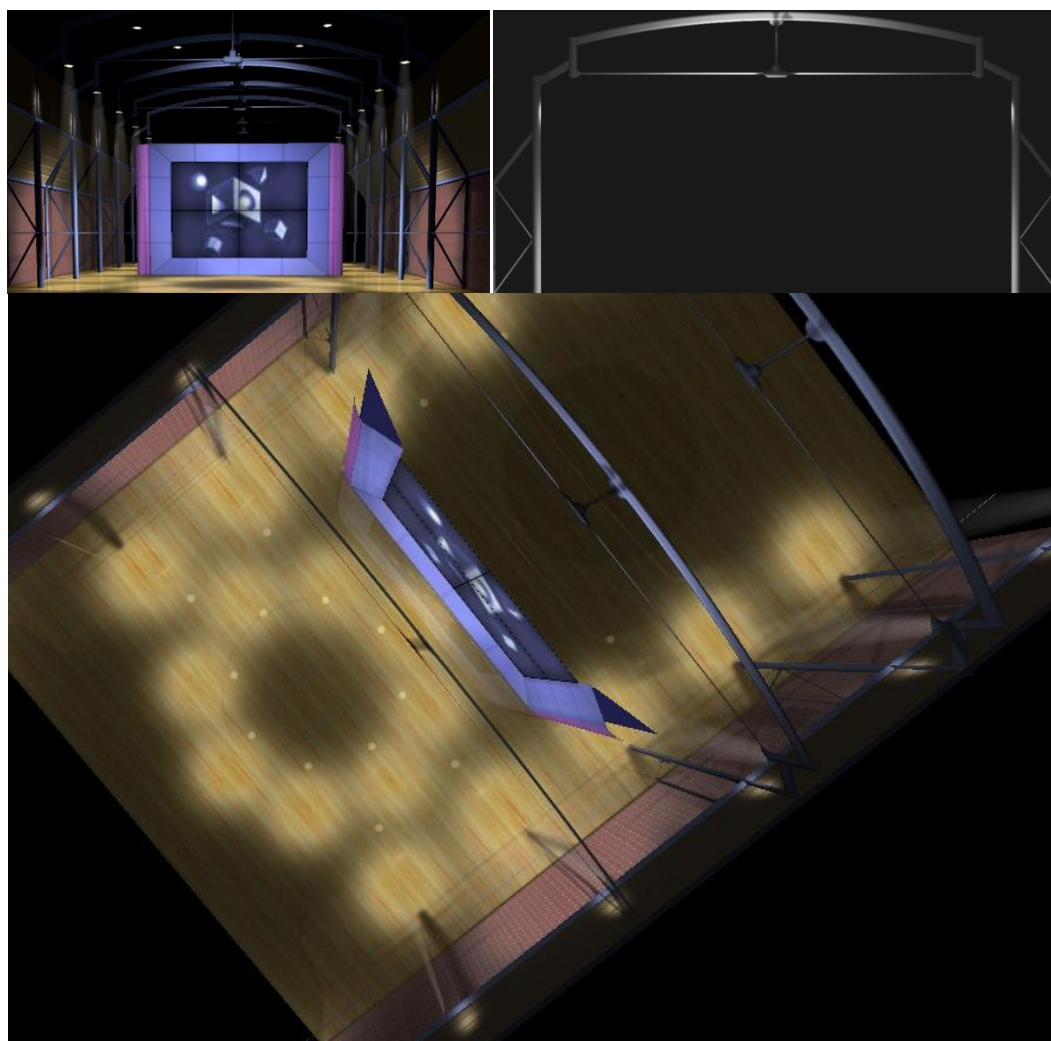


Fig. 92a/92b/92c – Em cima, cenário virtual criado pela Brainstorm, utilizado na ESCS durante o período de formação em 2003, no *software* eStudio (a) e *lightmap* de um dos seus elementos (b). Aquilo que parecem tubos no cenário são na realidade quadriláteros aos quais foi aplicado um material básico e um *lightmap*, que lhe confere o sombreamento e respectiva ilusão de tridimensionalidade. Quando observado o cenário em alçado lateral ou numa vista superior (c), é facilmente desmascarada a falta de polígonos na modelação de todo o cenário (cenário disponibilizado por Baptista da ESCS).

No que respeita à modelação com as primitivas disponíveis nos programas de *render* das plataformas, as suas vantagens ficam apenas no facto de ser um tipo de modelação que permite observar em tempo-real todas as modificações realizadas, sendo estas imediatamente admitidas pelo sistema e facilmente monitorizadas em relação ao seu comportamento em tempo-real. A introdução de modelos muito simples animados ou não, é facilitada pelo facto de serem passíveis de uma modelação directa, eliminando o passo da importação e dupla atribuição de materiais e texturas. Exceptuando-se este tipo de situações a modelação é sempre realizada por um programa externo à plataforma de *render* e importado através de ficheiros de dados relativos à geometria dos objectos, nomeadamente: posição de cada vértice, normais e faces de cada polígono definido como uma lista de vértices, os vértices das texturas e coordenadas UV da posição das texturas em relação aos vértices.

6.2 CONFIGURAÇÃO DO *LAYOUT* DE CENA

A configuração do *layout* da cena pode ser realizada de diversas maneiras, dependendo do tipo de objectivos definidos para a imagem compósita final. Entre as diferentes possibilidades temos que a escolha da aplicação de materiais nos modelos antes ou depois da importação, assim como da aplicação de luzes e escolha do tipo de sombras no programa original de modelação (pré-calculadas) ou no programa de *render* em tempo-real, determinarão a forma como se processará a aplicação de características aos modelos e a escolha do ambiente desejado.

A análise das práticas operadas nas estações televisivas RTP e SIC e na ESCS levou-nos a concluir que é mais comum optar-se pelo método de pré-cálculo do comportamento dos materiais em relação ao ambiente envolvente, que por uma aplicação de materiais e iluminação do próprio programa de *render* da plataforma (ver Fig. 93). No entanto, este também se aplica apesar de ser mais limitado em termos não só de diversidade, como pelo facto de exigir mais

processamento do sistema. Igualmente comum, é a utilização de um processo misto em que a maior parte dos materiais são aplicados através da aplicação das *baked textures*, conseguidas no programa de modelação original, e outro tipo de materiais com características específicas como o vidro são aplicadas no modelo já integrado na plataforma.⁴⁶ Efeitos especiais como chuva, ou nevoeiro (texturas processuais) são apenas aplicáveis nas plataformas de *render* em tempo-real se estas estiverem disponíveis no *software* utilizado.

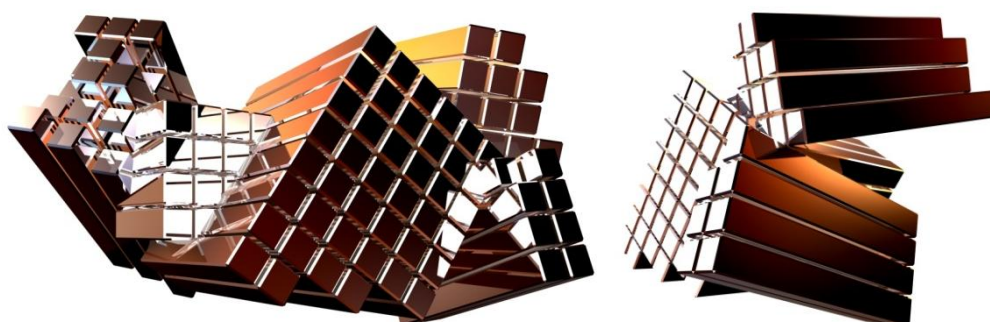


Fig. 93 – Cubos - Elemento tridimensional inserido no cenário representado na Fig. 89, ao qual foram aplicados materiais reflectores. A aplicação de um *render* pré-calculado sobre este elemento permite sem um grande esforço computacional conferir um efeito tridimensional e de profundidade ao cenário (imagem disponibilizada por Filipe Costa Luz).

Na preparação do modelo para *rendering* em tempo-real, as principais questões prendem-se com o número de faces geradas como já foi referido, com o tamanho das texturas, as normais (orientação das faces), a triangulação das superfícies e com as transparências. A triangulação gerada na construção dos modelos é uma questão fundamental para o processamento gráfico. Por vezes os programas de modelação produzem um tipo de triangulação automática que pode gerar problemas durante o *render*. Na maioria dos casos os primeiros problemas a surgirem relacionam-se com o sombreamento (*shading*) ou com o mapeamento (*texturing*) dos objectos. Este problema pode fazer com que os objectos apareçam deformados tornando difícil a identificação das normais (Luz 2006b). Actualmente, os *softwares* de modelação possuem já internamente ou

⁴⁶ Salvuaguarda-se, que em alguns casos nas plataformas mais actuais este tipo de procedimento já não é necessário. Determinados problemas resultantes da importação já não se põem devido ao *upgrade* das plataformas.

através de *plug-in's* ferramentas preparadas para corrigir estas falhas na geometria, fechando rapidamente as malhas, otimizando problemas com geometrias complexas e detectando as normais correctas para o *render* desejado. Assim sendo, depois de limpo o modelo, corrigidos os problemas de sombreado através da correcta triangulação das faces e preparadas as normais, este fica pronto para se proceder à aplicação de materiais.

Para Aranha e Calheiros (SIC), durante o processo de criação do *layout* de cena, se for escolhido o método de realização de *baked textures*, todas as técnicas são plausíveis.⁴⁷ O objectivo é produzir imagens de grande qualidade, sempre que possível com *raytracing* (ver Fig. 94). Podem aplicar-se materiais básicos, todo o tipo de *shaders* disponíveis nos programas, *plug-ins* e bibliotecas, assim como mapear objectos com texturas processuais ou de imagens. Todo o tipo de efeitos para a aplicação de relevos como *bump mapping*, *normal mapping*, *displacement mapping* ou *vector displacement*, podem igualmente ser utilizados. Apenas não faz sentido a aplicação de texturas animadas ou dinâmicas, se não posteriormente no programa de *render* uma vez que estas não são assumidas na importação.

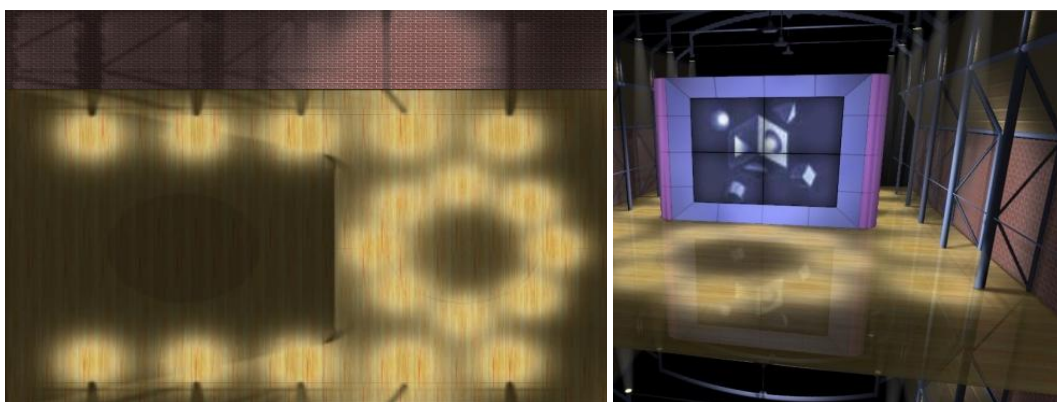


Fig. 94a/94b/94c – a) e b) *baked textures* realizadas no programa de modelação com pré-cálculo de sombras projectadas; c) veja-se o resultado da sua aplicação no modelo importado para o *software* de render em tempo-real (modelo Brainstorm disponibilizado por Baptista da ESCS).

⁴⁷ Não deixa de ser importante que se equacione o tempo necessário para serem aplicadas e renderizadas na forma de imagens, dentro do que está estipulado no *briefing*.

As *baked textures* são actualmente a técnica mais utilizada em CV. Entre as principais vantagens está o facto de permitirem obter um bom realismo gráfico proveniente do pré-cálculo da iluminação dos objectos assim como das suas sombras projectadas. Actualmente os programas de modelação fazem este processo de forma automática, dando a liberdade de escolher quais os objectos dos quais queremos obter as texturas através de comandos como *render to texture* ou *create baked texture*, criando as imagens que são posteriormente mapeadas nos diversos elementos do cenário. Na importação é fundamental que o ficheiro com a geometria do objecto e o ficheiro com o material ou textura tenham o mesmo nome. As coordenadas de mapeamento sobre o objecto são importadas juntamente com a geometria do objecto. Este procedimento é essencial para se conseguir uma melhor organização dos mesmos dentro do programa de modelação e posteriormente no programa de *render* em tempo-real (Luz 2006b).

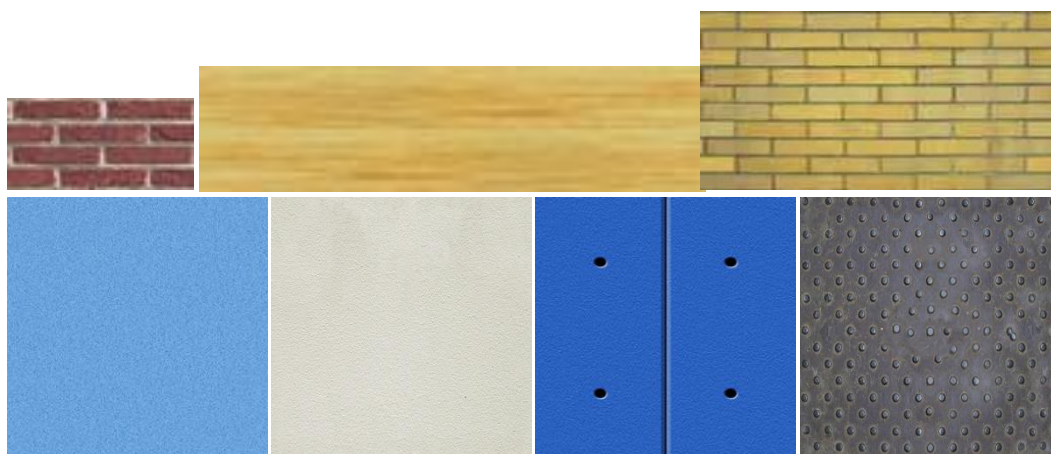


Fig. 95a/95b – Dois grupos de texturas utilizados nos dois cenários da Brainstorm que apresentamos neste capítulo. Consoante o objectivo, as texturas possuem resoluções maiores ou menores sendo-lhes aplicada ou não a técnica de *tiling* (imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).

No método de mapeamento de texturas de imagem, o processamento gráfico pode ainda ser optimizado adequando o tamanho das imagens às necessidades de realização do cenário, através da aplicação de imagens com tamanho elevado a 2 (ex: 2 x 2, 8 x 8, 128 x 128, 1024 x 1024, etc) (Luz 2006b). No projecto considera-se sempre a qualidade necessária para aproximação máxima ao objecto mapeado, uma vez que todos os sistemas de CV

suportam já o método de *mipmapping* e diminuem proporcionalmente a qualidade da textura a processar à medida que a câmara se afasta dos objectos. O problema da qualidade das imagens utilizadas tem vindo a diluir-se à medida que as plataformas permitem a aplicação de texturas cada vez maiores para poderem ser emitidas em HD (ver Fig. 95).

Ainda, no sentido de se optimizarem os recursos, é igualmente desejável que ao mapearem-se texturas sobre grandes superfícies, se utilizem imagens que possam ser repetidas (*tiling*), na horizontal e vertical de forma a que se não perceba a repetição, caso contrário o resultado poderá ser pobre e artificial. A repetição de texturas é uma prática comum do mapeamento de texturas, mas pode provocar um efeito artificial que tem de ser eliminado através de alguns truques de tratamento de imagem. Existem diversas técnicas, ideias ou opções para corrigir a imagem, desde a correcção das fronteiras à utilização de outros materiais sobre a textura, são várias as maneiras de disfarçar não só a falta de resolução da imagem como a sua origem (ver Fig. 96). Sempre com o objectivo de se conseguirem modelos tridimensionais mapeados com texturas realistas, trabalham-se ainda as imagens no sentido de obter outros tipos de expressão, como a simulação de sombras desenhadas, envelhecimento do material e/ou acrescentar de detalhes (Luz 2006c). Numa perspectiva mais artística e menos realista, a expressividade dependerá da criatividade do *designer* de CV.

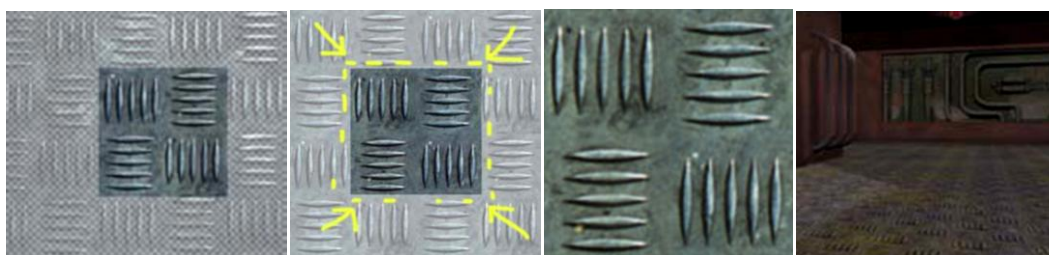


Fig. 96 - Tratamento de imagem para a realização de uma textura criada pela repetição de uma pequena imagem ao longo de uma superfície – *tiling*. Quanto menor a textura menos processamento ela necessitará, como tal procura-se utilizar um modelo padrão tão pequeno quanto possível, a correcção das fronteiras deve eliminar manchas de cor que possam denunciar a união das imagens (Luz 2006c).

Para se verificar se o mapeamento se faz de forma correcta sobre o modelo, é recomendado aplicar-se um material normal com um mapa *checker* de forma a perceber qual o comportamento das texturas quando aplicadas sob a superfície. Se o resultado não for o desejado, utilizam-se as ferramentas disponíveis para corrigir a forma como as texturas serão aplicadas (ver Fig. 97).

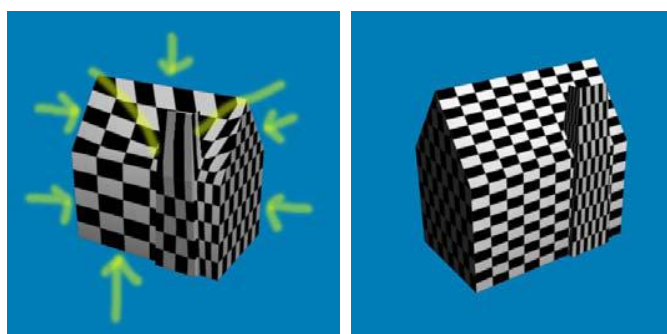


Fig. 97 – Anterior e posterior à definição do correcto mapeamento da textura (Luz 2006b).

Quanto à iluminação, a sua aplicação estará sempre dependente da forma como esta estiver a ser aplicada no ambiente real. Segundo Baptista, a escolha de uma iluminação fixa homogénea no estúdio, além de permitir uma captação de *chroma* de boa qualidade, oferece a possibilidade de criar toda a espécie de diferentes ambientes através de uma modelação de luz pré-calculada. As possibilidades são quase ilimitadas dentro daquilo que será admitido como razoável e credível.

Constatámos também, que ao importar um objecto 3D os objectos ficam sujeitos à iluminação da cena criada na plataforma de *render*, não sendo possível exportar luzes aplicadas a partir do programa utilizado para criar os modelos. Consequentemente, entre as técnicas de iluminação aplicáveis, é possível escolher entre a aplicação da iluminação antes da importação, transformando-a em *baked textures* ou *lightmaps*, depois da importação aplicando os tipos de luzes/sombras disponíveis no *software* da plataforma ou utilizar os dois tipos de iluminação em conjunto.

Os cenários que simulam a própria iluminação através da aplicação de *baked textures* ou *lightmaps*, têm a vantagem adicional de consumirem muito menos recursos da plataforma do que os cenários com uma iluminação aplicada no *software* da plataforma de *render*, razão pela qual são extensivamente utilizadas. Segundo Aranha e Calheiros (SIC), antes da importação podem-se aplicar todo o tipo de luzes *Omni*, luzes direccionais, *Spotlights*, *Area Lights*, *Environment Spheres*, luz ambiente, luzes fotométricas ou com referências geodésicas. Iguamente procede-se à escolha do tipo de cálculo que se quer utilizar com luz directa ou luz indirecta. O cálculo da luz indirecta pode ser realizado através de diversos algoritmos de *rendering* tais como *raytracing*, radiossidade, *path tracing*, *ambient occlusion* (simulação de GI), *etc*, dependendo do tipo de programa de modelação e *rendering* que se estiver a utilizar.

Constrangimentos de tempo em cenários complexos, podem levar à simulação de luz indirecta através da utilização de luzes extra na cena, calculando-se só a luz directa provocada pelas mesmas. Assim é possível tentar imitar o cálculo de GI com recurso a diversos *spots* de iluminação que imitam a luz ambiente, a luz reflectida pelo chão e pelo sol (ver Fig. 98). O resultado do *render* pode ser aperfeiçoado através da alteração de alguns parâmetros tais como a iluminação dos contornos ou a alteração da intensidade das sombras. Se o resultado não for satisfatório e o processo de aperfeiçoamento se revelar demorado, é preferível finalizar o trabalho das texturas num programa para tratamento de imagem (Luz 2006a).

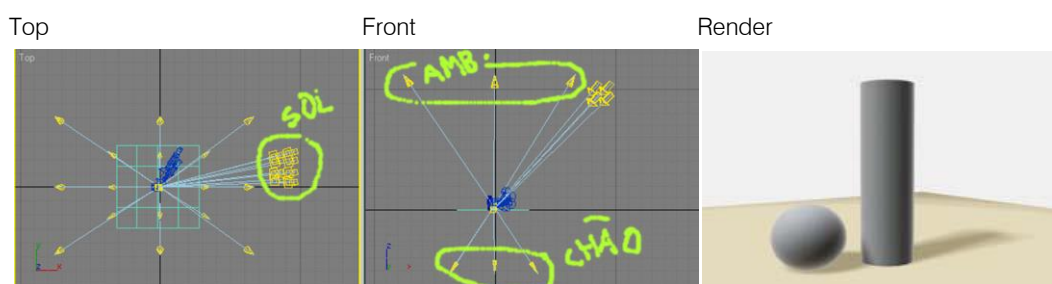


Fig. 98a/98b/98c - Simulação de GI através da aplicação de diversas fontes de luz substituindo o cálculo de *raytracing*; à dir. o resultado final da aplicação das diferentes luzes: 9 *spots* para luz ambiente, 9 *spots* para luz reflectida pelo chão e 8 *spots* para a luz do sol (Luz 2006a).

Num *render* com *raytracing* será conveniente definir-se um tipo de iluminação que assegure um resultado previsível, uma vez que é investido um determinado tempo de cada vez que se realiza um teste de *render*. Um método possível e seguro será o método de Hollywood com uma luz principal - *key light* - geralmente um *spotlight*, uma segunda luz - *fill light* - geralmente uma *omni light* e por fim uma *backlight* por detrás da câmara. Na realidade as possibilidades são imensas, contudo sempre que se efectuam cálculos de *raytracing* quanto menos luzes aplicadas mais rapidamente se obterão os resultados.

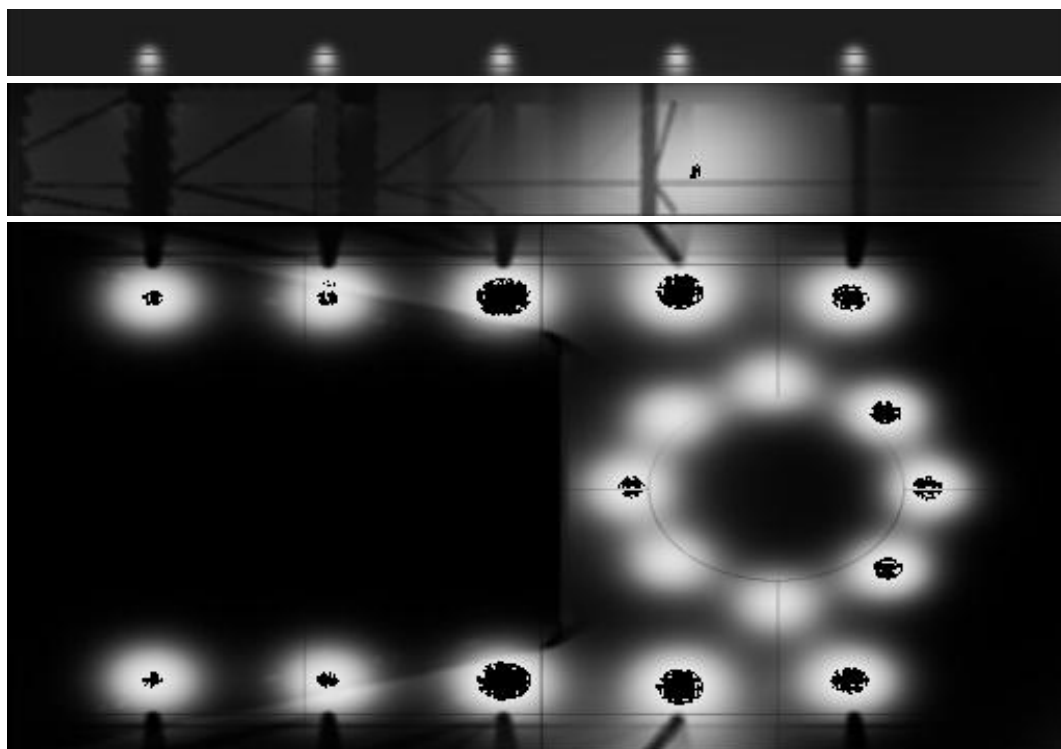


Fig. 99a/99b/99c – O cenário representado nas figuras 92a e 94c, pode ter as suas sombras aplicadas através de *lightmaps* como os representados em a), b) e c) ou pelas *baked textures* representadas nas fig. 94a e 94b; contudo, a utilização destes *lightmaps* (com canal alfa), traz a vantagem de se poder mudar de textura de material facilmente, aplicando-se sombras sem ser necessário realizar um novo *bake* do cenário; ambas as soluções eliminam a necessidade de se aplicarem luzes no cenário importado para a plataforma (imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).

A aplicação de *lightmaps* para a produção de sombras sobre os objectos é possível, mas não em todos os *softwares*. Aliás, pudemos apurar que não era possível aplicá-los no 3Designer da Orad instalado nas plataformas da SIC

e RTP Lisboa, mas era possível aplicá-los no eStudio da Brainstorm da ESCS e no 3Designer da RTP Porto. Combinados com os mapas de textura, permitem igualmente gerar uma “cena iluminada” na plataforma de CV. Trazem duas desvantagens na sua utilização, o facto de aumentarem as necessidades de processamento e a segunda de serem apenas utilizáveis na aplicação de iluminação estática. Apesar disso, as suas possibilidades na criação rápida de diferentes ambientes é um dos caminhos explorados criativamente (ver Fig. 99 e 100).

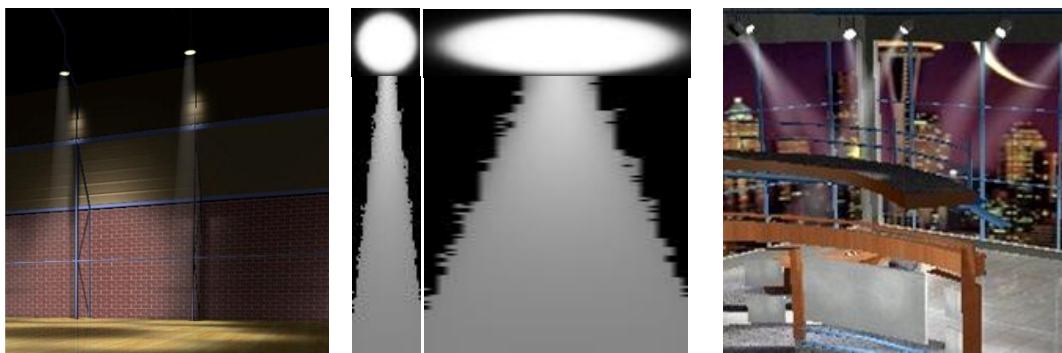


Fig. 100a/100b/100c – ao centro, b), podemos ver *lightmaps* utilizados para a realização de focos de luz nos cenários a) e c). Este simples efeito consegue, com um custo de processamento muito inferior, realizar um efeito semelhante ao das *volume lights* (cenários Brainstorm - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).

A aplicação de *environments maps* pode-se realizar antes e depois da importação do cenário assistindo à interação dos diversos objectos colocados na cena. Ainda assim, a sua aplicação no programa de modelação é menos comum uma vez que superfícies reflexivas são geralmente produzidas dentro do *software* da plataforma de *render* em tempo-real, e não antes⁴⁸. A sua aplicação nos modelos para cálculo das *baked textures*, pode surgir quando se deseja evitar o cálculo de *raytracing*. A sua aplicação nos modelos já importados faz-se através de *sphere mapping* ou *cube mapping* dependendo do método que estiver disponível no *software* da plataforma (ver Fig.101).

⁴⁸ Podemos ver o resultado de uma aplicação do género no elemento “cubos” criado para o cenário de Filipe Costa Luz (Fig. 93), o facto dos reflexos serem estáticos limitam as possibilidades de realização. Em sendo aplicados os reflexos depois da importação estes têm um comportamento dinâmico, apesar de serem menos correctos a sua dinâmica ajuda a criar a ilusão de uma superfície reflexiva.

Sphere Map

Cube Map



Fig. 101a/101b/101c/101d -Comparação entre o resultado da aplicação de um *sphere mapping* na segunda imagem e de um *cube mapping* na quarta imagem (*BluffTitler DX9 - Effects*, © 2010 Outerspace Software).

Esta técnica é bastante utilizada para provocar reflexos em materiais transparentes ou translúcidos, sendo o método igual para os diferentes *softwares*, sejam da *Brainstorm*, da *ORAD* ou da *Viz*. Apesar de serem mais limitadas as possibilidades do *Sphere mapping* do que as de *Cube mapping* ou *Octahedron mapping*, pudemos apurar que é o método mais utilizado, ou por ser o único disponível ou porque simplesmente é aquele que tem um processamento mais leve. Dentro do programa pode ainda escolher-se a aplicação de diferentes formas de reflexão optando-se por aquela que permite dar um ar mais credível (ver Fig. 102).

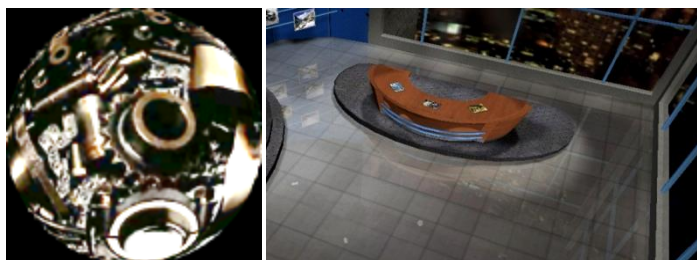


Fig. 102a/102b - Qualquer tipo de imagem pode servir ao mapeamento desde que preparado como mapa esférico (*probe*), mapas com bastantes brilhos e reflexos provocam reflexos mais interessantes. O mapa esférico a) foi utilizado para criar reflexos no cenário da *Brainstorm* b) (imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).

A aplicação de luz dinâmica deve ser realizada directamente na cena importada para o *software* 3D da plataforma. Contudo esta só é aplicada em situações especiais, como o movimento de um foco de luz salientando algo no cenário virtual como um objecto em movimento. Neste momento, o sistema da *Brainstorm* afirma que as suas *real-time lights* já estão preparadas para calcular

sombras em função dos movimentos da câmara, calculando inclusive sombras próprias. Será sem dúvida uma mais valia a sua aplicação, contudo, as plataformas avaliadas neste estudo não produzem ainda esse tipo de cálculo e como tal vai sendo dada preferência às sombras pré-calculadas que tanto limitam as possibilidades de realização em estúdio. Por outro lado a utilização das luzes sem produção de sombras tem um aspecto pouco realista, tal como pudemos observar durante a investigação. Pode-se destruir todo o processo criativo de um bom cenário através da sua má aplicação.

Quanto à utilização de *Image Based Lighting* ou *High Dynamic Range Lighting*, segundo Estanqueiro (RTP), sendo algo que anteriormente não faria sentido pela falta de qualidade da imagem recebida pelo espectador, através da renovação para HD passou a ser uma técnica desejável na realização dos cenários. A mesma permite aumentar o espectro de cores e contrastes, tornando o cenário bastante mais semelhante àquilo que captamos da realidade, tornando-o assim mais credível. Este tipo de iluminação tem como limitação o facto de representar apenas a luz do ambiente onde o modelo foi capturado e sobre condições de iluminação fixas. A maneira como a HDRI é captada, a partir de um ambiente real ou virtual, se for cuidadosamente planeada de forma a conseguir-se uma boa interacção com a imagem real, pode contudo melhorar consideravelmente a qualidade do cenário.

Uma vez aplicados os materiais e escolhido o método de iluminação no *layout* da cena, torna-se importante verificar o resultado do projecto através da colocação de uma ou mais câmaras, que permitam ter a noção da forma como o realizador poderá apresentar o espaço de diferentes ângulos, as diferentes profundidades de campo, assim como os enquadramentos possíveis. Antes da importação e através da utilização de uma lente de câmara virtual com as mesmas características das lentes que serão utilizadas em estúdio (se estas estiverem disponíveis no *software*), é possível realizar testes de rotação, *pan*, *zoom in* ou *zoom out* ao longo de eixos dentro do cenário. Este exame preliminar ao cenário, pode levar a que se façam correcções essenciais para tornar o projecto “real” (ver Fig. 103). Segundo Estanqueiro (RTP) a sua utilização logo numa face

inicial permite perceber como os objectos serão visualizados pelo espectador, facilitando a modelação das proporções adequadas para o efeito pretendido.



Fig. 103a/103b/103c/103d – Para o realizador torna-se importante verificar o resultado do projecto através da colocação de uma ou mais câmaras, que permitam ter a noção da forma como se pode apresentar o espaço, as diferentes profundidades de campo, assim como os enquadramentos possíveis (cenário Brainstorm - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).

Numa outra perspectiva, temos que para Baptista (ESCS), outra das maneiras de se verificar se o cenário está bem conseguido processa-se numa fase posterior à importação para a plataforma de *render*, e assenta na realização de testes de *chroma* com personagens reais a interagirem com o cenário virtual. Através da sua movimentação dentro do cenário é possível perceber se as dimensões dos objectos são correctas ou se tem de ser modificadas. O mesmo se passa em relação à sua colocação no espaço do cenário que pode ser corrigida depois de bem visualizados o tipo de movimentação e possibilidades de realização do programa. A análise permite ainda apercebermo-nos de qual será o tipo de informação visual mais coerente para o espectador. É importante que objectos virtuais como mesas, bancadas ou bancos sejam credíveis em relação às proporções das pessoas e objectos reais. Por vezes aquilo que julgamos ser mais

adequado como *designers*, em termos de perspectivas de câmara pode ter um resultado completamente inesperado. A desvantagem do método sugerido, depreende-se do facto de que se houver modificações a realizar, o processo de modelação, *layout* de cena e importação tem de ser repetido novamente.

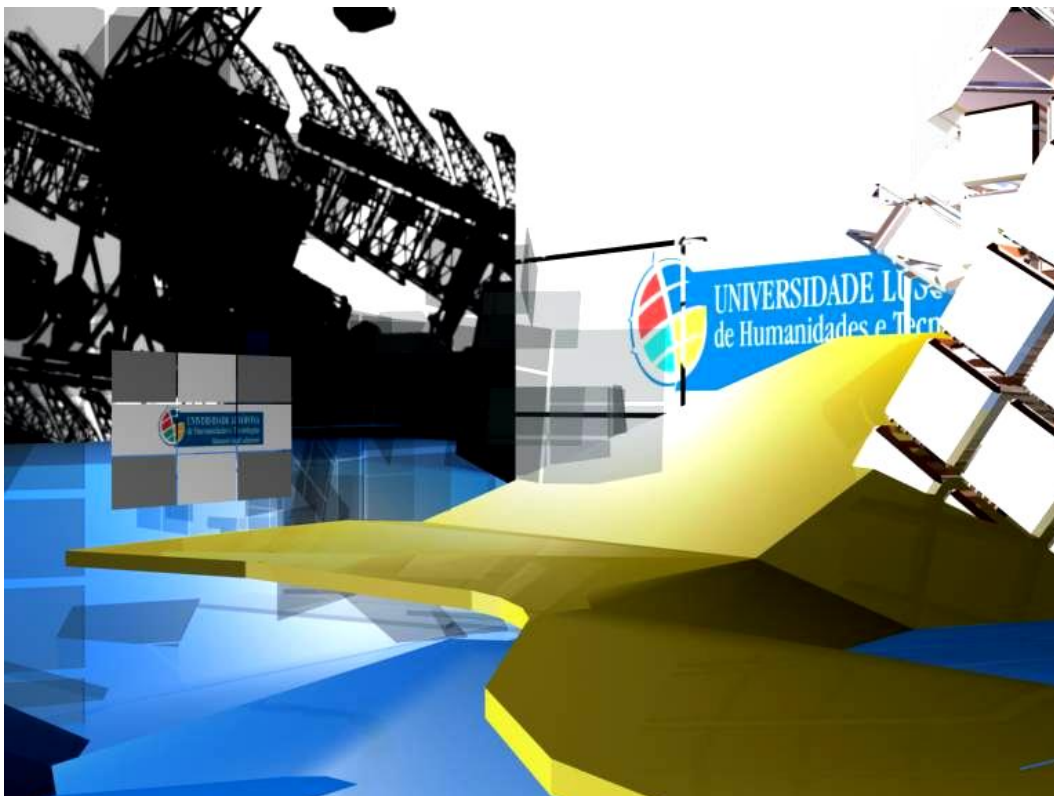


Fig. 104 – *Render* final do Cenário de Filipe Costa Luz em 3ds Max, antes de se proceder à importação para a plataforma de CV (imagem disponibilizada pelo autor).

Capítulo VII Compatibilização dos modelos 3D com as plataformas de *rendering* em tempo-real

A compatibilização dos modelos construídos em *software* para modelação 3D, com os programas de geração de imagem em tempo-real utilizados pelas plataformas é uma parte essencial do processo da Cenografia Virtual. Qualquer que seja o cenário, por mais ou menos criativo que seja, só vai resultar se se souber adaptar o projecto à plataforma de *render* e *software* instalado. A análise das *praxes* utilizadas nas plataformas das Estações Televisivas RTP e SIC e na ESCS forneceram os dados para uma sistematização dos procedimentos necessários a uma correcta importação e preparação dos modelos virtuais para emissão em tempo-real.

Distinga-se então que no processo foram avaliados modelos construídos no *software open source* Blender no caso da ESCS e da RTP, e no *software* 3ds Max e Maya da Autodesk no caso da SIC. Os programas de *software* para *render* em tempo-real analisados nas diferentes plataformas foram o E-Studio da Brainstorm na ESCS e o 3Designer na estações televisivas RTP e SIC.

7.1 IMPORTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO MODELO NA PLATAFORMA DE *RENDER* EM TEMPO-REAL

Estando os modelos correctamente dimensionados, aplicadas todas as características e definido o ambiente envolvente, verifica-se se os objectos estão correctamente preparados (organização dos objectos) para serem gravados na linguagem compatível com o programa de *software* utilizado pela plataforma de *render*. No programa que recebe os objectos é criada a pasta de projecto. Nessa pasta ficarão o ficheiro com as informações importadas respeitantes à cena, isto é, a geometria e materiais do cenário, .obj, .wrl, .fbx para

a geometria⁴⁹ e .mtl para a listagem do material, entre outros formatos dependendo do *software* utilizado, e os ficheiros de imagem com as texturas, .tga, .jpg, .bmp ou outros formatos de imagem compatíveis. O ficheiro com as informações respeitantes à geometria dos objectos têm associadas as coordenadas para o mapeamento das texturas sobre os objectos.⁵⁰ Nesta pasta ficarão também os ficheiros gerados pelo *software* da plataforma com as informações do cenário.

A importação dos objectos deve obedecer a diversos procedimentos, evitando-se assim aquilo que sabemos à partida que não funcionará na importação para a plataforma. A permissa base assenta no facto do modelo ter de ser *lowpoly* para não esforçar o sistema. A contagem dos polígonos deve manter-se baixa, quanto mais leve for o seu processamento maior atenção pode ser dada a outras características do projecto (ver Fig. 105). Importa ter em mente que ao projectar facilmente se aumenta o número de polígonos acrescentando uns simples pormenores.

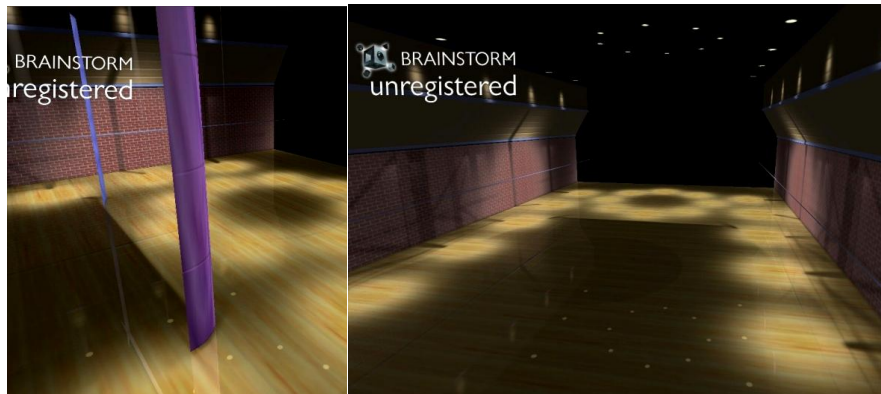


Fig. 105a/105b - Neste modelo da Brainstorm podemos ver como a modelação foi reduzida ao essencial. Uma vez realizado o modelo existe a hipótese de escolher se os polígonos são visíveis de um ou dos dois lados. Quando observado a partir de um ponto de vista que não será utilizado pelo realizador constatamos que os polígonos só estão a ser calculados em função do lado visível (imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).

⁴⁹ Verificada a diferença de tamanho entre dois ficheiros com a mesma geometria, .obj revelou-se ligeiramente menor do que .wrl. Contudo, segundo Estanqueiro (RTP) a diferença não é suficientemente significativa para afectar substancialmente o processamento.

⁵⁰ As linguagens utilizadas na importação são bastantes eficientes, na altura em que surgiram as plataformas eram as linguagens mais actuais. Como as plataformas não sofreram uma evolução paralela à evolução do *hardware* continuam a ser formatos eficazes.

A geometria importada é desenhada de acordo com um georeferencial, isto é, todos os elementos do cenário virtual são inseridos no cenário real em função de um ponto virtual, ponto 0, que corresponde a um ponto no estúdio real. O ponto 0 é essencial para o *tracking* fazer a correspondência entre os dois mundos real e virtual, e fazer a correcta integração dos elementos no cenário físico. Em termos de *render* como o sistema só reconhece geometria pura, o ponto utilizado para fazer a referência é invisível. No caso dos objectos virem a ser animados, é possível determinar se os mesmos passam à frente ou atrás da imagem real, evitando-se a necessidade de se ter um estúdio real com uma grande profundidade. Paralelamente, se se quiser produzir sombras pré-calculadas de objectos reais a partir de objectos virtuais idênticos⁵¹ (que ficam escondidos durante o *render*), é imprescindível que a ligação dos dois ambientes se faça de forma imperceptível.

Depois de importado e finalizado o modelo no *software* da plataforma é colocada uma câmara que por sua vez é associada ao *tracking* de cada uma das câmaras em estúdio. A cada plataforma do *render engine* corresponde uma câmara real, as suas coordenadas são assumidas pela câmara virtual permitindo assim realizar a perspectiva correspondente à câmara real. A lente usada na câmara virtual é a mesma que é utilizada na realidade.

Outro dos factores chave na importação relaciona-se com a utilização de *plug-ins* no programa de *software* original. A sua utilização pode introduzir uma série de *data* que depois ao ser importada para a plataforma na linguagem reconhecida não passa correctamente. Sabendo isso à partida, as possibilidades destes *plug-ins* são utilizadas unicamente no sentido de obter as *baked textures* e então importar a *data* na forma de mapas de texturas. Da mesma forma, *bump* e *displacement mapping* não são passíveis de importação, visto que não é possível importar geometria com mapas de deslocamento agregados.⁵²

⁵¹ Quando a abertura de chroma é muito alargada as sombras reais podem não ser detectadas, é possível suprir essa falha realizando as sombras virtualmente e inserindo-as na imagem compósita final.

⁵² Ressalva-se que tudo o que for modelado no *software* de modelação por *plug-ins* que alterem a geometria, desde que possa ser convertido em polígonos, depois de aplicado o deslocamento, pode ser importado.

Ainda assim, apesar dos novos *upgrades* ao *software* das plataformas de CV já suportarem *bump mapping* e *displacement mapping*, estas novas *features* acabam por não ser utilizadas (ver Fig. 106). Segundo a opinião dos modeladores (Aranha; Calheiros; Estanqueiro), o facto das *baked textures* fazerem praticamente o mesmo com muito menos processamento é razão suficiente para as evitar.



Fig. 106a/106b - Imagens promocionais do lançamento do *software* eStudio, em 2007, demonstrando as possibilidades do programa na realização de *bump mapping* (eStudio v.11 - *Brainstorm 10th users Meeting*, 2007).

Na prática, para que os *plug-ins* pudessem ser utilizados no *software* de modelação tinham de ser compatíveis com os programas das plataformas tais como o eStudio, o 3Designer e o Viz Studio. Existem *plug-ins* bastante interessantes nomeadamente para a indústria televisiva,⁵³ mas tudo está ainda num estágio em que aquilo que é possível fazer no PC doméstico fica inatingível a nível da Cenografia Virtual televisiva.

Dentro do mesmo contexto, se as linguagens de importação são eficientes na importação de dados da geometria e texturas, não têm a capacidade de importar informações relacionadas com a utilização de *shaders* (materiais). Espera-se, no entanto, que brevemente a importação se possa fazer também a nível dos materiais. Depreende-se que a utilização de *plug-ins* com *shaders*, pelo facto da plataforma de CV ter o seu próprio *render engine*, faz com que materiais *raytrace* aplicados a partir de *plug in's* como o *Vray* ou o *Mental Ray* não possam ser importados.

⁵³ RPC Placement da Archivision por exemplo utiliza uma técnica baseada em *Image-based rendering* para introduzir elementos com qualidade foto-realista com um mínimo de polígonos, transmitindo através de cálculos especializados a ilusão de um elemento 3D complexo e permitindo uma navegação no ambiente.

Por outro lado, os *shaders* utilizáveis nos *softwares* das plataformas de CV são extremamente limitados pelo que acaba por ser uma opção óbvia a utilização dos inúmeros *shaders* disponíveis nos programas de modelação e consequente realização de *baked textures*. No caso da plataforma da ESCS, segundo Baptista, o único tipo de *shading* disponível é o de *Gouraud*,⁵⁴ quando este não é utilizado o material fica com um aspecto liso ou multifacetado, perdendo-se a noção das superfícies curvas tridimensionais. Optando-se pela utilização de texturas é aplicado aos objectos um material simples de cor antes da importação, que ajudará a diferenciar as geometrias. Este procedimento facilita o necessário *assignment* de cada textura a um material diferente no programa de *rendering* através de um sistema de *drag and drop*. Colocadas as texturas uma a uma nos sítios correspondentes, seleccionam-se todos os materiais e reduzem-se a branco de forma a não afectar a luminosidade do material, uma vez que as *baked textures* já fazem por elas o *shading* necessário.

Postas estas considerações, devido à importância que as texturas assumem no processo de realização de uma cenografia virtual, são diversos os cuidados a ter antes da sua importação. O facto dos sistemas de *render* em tempo-real fazerem *mip mapping*, aumenta a possibilidade de se notarem as zonas de união entre as texturas aplicadas (ver Fig. 107).⁵⁵ Também o método de *unwarp* automático pode causar esse tipo de efeito. Um dos métodos utilizados para evitar o seu aparecimento, é pintar no plano onde foi planificada a textura, junto das bordas, a mesma cor ou semelhante à borda da textura. Por objectivo tem-se que o programa proceda à interpolação da cor das bordas da textura com outra semelhante em vez da cor uniforme preta ou cinza que geralmente é aplicada como fundo da *baked texture*.⁵⁶ A correcção dos mapas pode fazer-se em programas como o Photoshop ou mesmo directamente nos programas de modelação se estes o permitirem.

⁵⁴ A nova versão já permite realizar *Phong shading*.

⁵⁵ *Seams* ou costuras

⁵⁶ A cor do fundo pode ser sempre designada pelo modelador.

A importância da utilização de texturas é tal que para o perito em CV, Jim Suhre da SMA Video (New York), comparando as capacidades do profissional de modelação 3D e de um profissional de Photoshop, serão mais importantes as capacidades do segundo do que do primeiro na execução do modelo cenográfico. Na sua opinião se os modelos não forem correctamente mapeados com boas texturas, o resultado será terrivelmente falso (Doyle 1999).

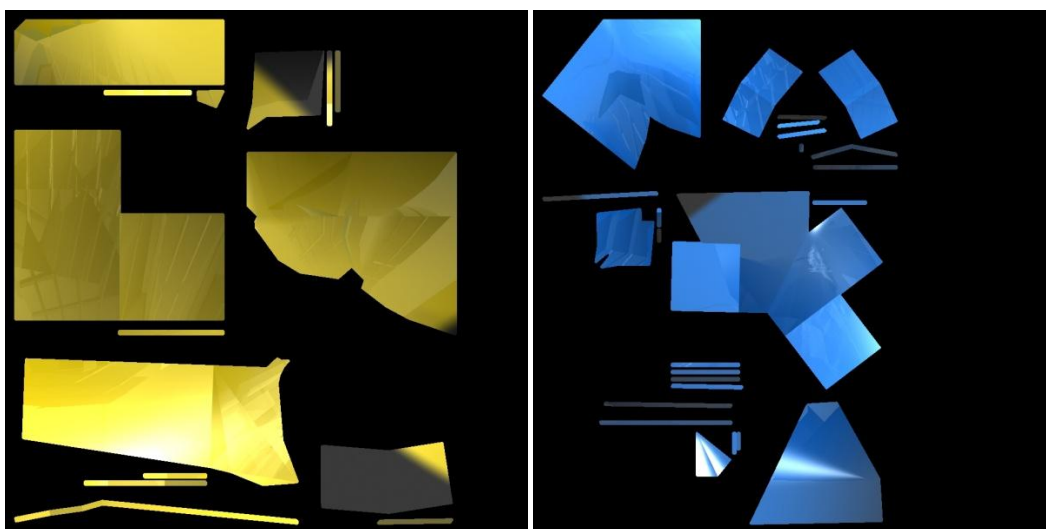


Fig. 107 - *Baked textures* geradas a partir do *render* do chão do cenário representado na Fig.104 (imagens disponibilizadas por Filipe Costa Luz).

Outro tipo de problemas próprios da aplicação de texturas prende-se com a utilização de linhas finas nas imagens. Se ao aproximarmo-nos do objecto mapeado a textura pode ter um aspecto excelente, acontece que devido à falta de resolução do sistema PAL, ao afastarmo-nos, as linhas ficam com um aspecto indefinido desmascarando o processo. Se no futuro as emissões em HD eliminarão esse problema, por enquanto é algo que temos de contabilizar quando escolhermos os materiais ou imagens a aplicar. Aliás, é pela mesma razão que se aconselha as pessoas a não usar roupas às riscas no estúdio.

Colocamos então a este propósito a questão da resolução das texturas pois toda uma gestão tem de ser realizada à sua volta. Seja pelo limite de memória aplicável em texturas, seja pela qualidade das imagens o modelador terá dentro dos limites da sua plataforma de encontrar um equilíbrio adequado à forma

de realização do programa. Temos, por exemplo, que num programa de informação onde cerca de 85% do programa se pode passar num *close-up*, importa que haja uma grande qualidade na imagem de fundo (ver Fig. 108).



Fig. 108a/108b/108c – Texturas utilizadas como fundo no cenário de Luz, a), e no cenário da Brainstorm b) e c); para além da importância que assume uma boa resolução da imagem de fundo, a utilização de imagens que sugiram profundidade contribuem fundamentalmente para criar o espaço virtual (imagens disponibilizadas por Luz a), e por Baptista b) e c))

Já para objectos que apenas vão ser visualizados através de um grande plano, a qualidade dos mapas de textura aplicados pode ser mais reduzida (ver Fig. 109). De momento os *upgrades* vão permitindo que se passe do limite de texturas de 4k para 8k, isto veio facilitar francamente o trabalho de modelação. Mais uma vez é a passagem para a HDTV que vai impulsionando o desenvolvimento das possibilidades das plataformas.

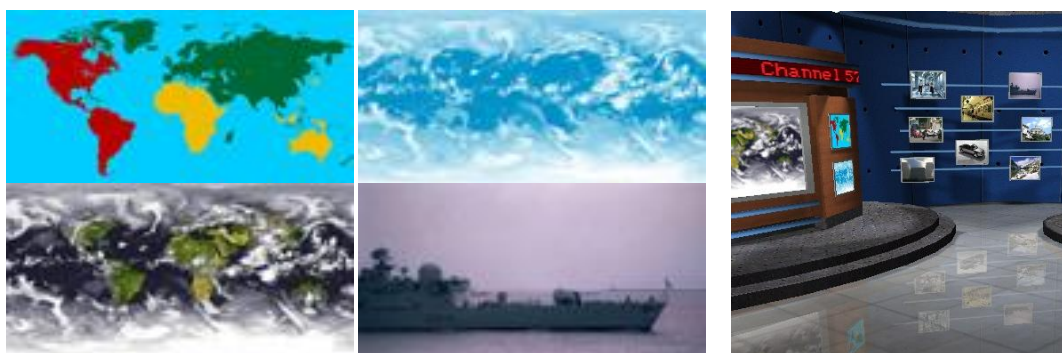


Fig. 109a/109b – Texturas (a) utilizadas no cenário virtual (b) da Brainstorm; visto que estas imagens não vão ser visualizadas em plano apertado a resolução que lhes é dedicada pode ser bastante inferior àquela que é dada às texturas representadas nas Fig. 108a e 108b (imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).

No que respeito à sobreposição de texturas, até agora só tem sido possível nas duas estações televisivas visitadas utilizar uma textura por objecto, sem sobreposição de camadas. Este factor é extremamente limitador em termos de aplicação de materiais, pois não pode haver interacção entre diferentes características para criar efeitos diversos. Segundo Estanqueiro, a nova plataforma da RTP Porto já tem essa possibilidade, assim como já importa com qualidade materiais que simulem o vidro. Por outro lado, e através do eStudio na ESCS, a possibilidade de aplicar mais do que uma textura já existe desde que a plataforma foi implantada em 2003. Tal como referimos no capítulo anterior, esta característica oferece-lhe a possibilidade de trabalhar com *lightmaps* e simular materiais ou zonas do cenário sombreadas. Segundo Baptista, a grande vantagem da aplicação de *lightmaps* sobre objectos mapeados com texturas, revela-se na forma como rapidamente se transforma um cenário, sem ser necessário calcularem-se novamente *baked textures* no programa original de modelação.

O mapeamento de objectos transparentes, com mapas de transparência e de reflexo, faz-se directamente na plataforma utilizando-se o *shading* do programa. Se necessário aplicam-se texturas que tenham para além dos 3 canais RGB, um canal *alpha*. Neste quarto canal *alpha* são definidas quais as zonas da textura que serão transparentes, semi-transparentes ou opacas. Constatou-se que a aplicação deste tipo de textura nos programas de modelação e posterior importação não se realiza de forma eficaz, pelo que acabou por se adoptar a técnica de aplicação deste tipo de materiais apenas na plataforma.

Quanto à utilização de reflexos, a sua representação através de *baked textures*, dependendo do efeito pretendido, poderá ser um erro uma vez que inviabiliza um comportamento dinâmico.⁵⁷ Assim sendo, a sua aplicação faz-se igualmente na plataforma, desta feita através de *sphere mapping* ou *cube mapping*. A primeira consome menos recursos que a segunda mas produz bastantes artefactos e é menos realista, pelo que tem de ser feita uma aplicação

⁵⁷ O procedimento é exactamente o contrário. Quando se realizam *baked textures*, segundo, Baptista, retira-se o mais possível da especularidade aos materiais, posto que esta acaba por denunciar nas perspectivas a forma como a iluminação foi simulada. Já a utilização de materiais difusos elimina a possibilidade do olho humano determinar de onde deveria chegar a fonte de luz.

cuidadosa na geometria. Os programas põem à disposição diferentes formas de aplicar os reflexos. Esta técnica é essencial na concepção de cenários, pela sua capacidade de criar níveis de profundidade, através de efeitos de iluminação, reflexos, entre outros truques que conferem um grau de realismo fulcral aos cenários.

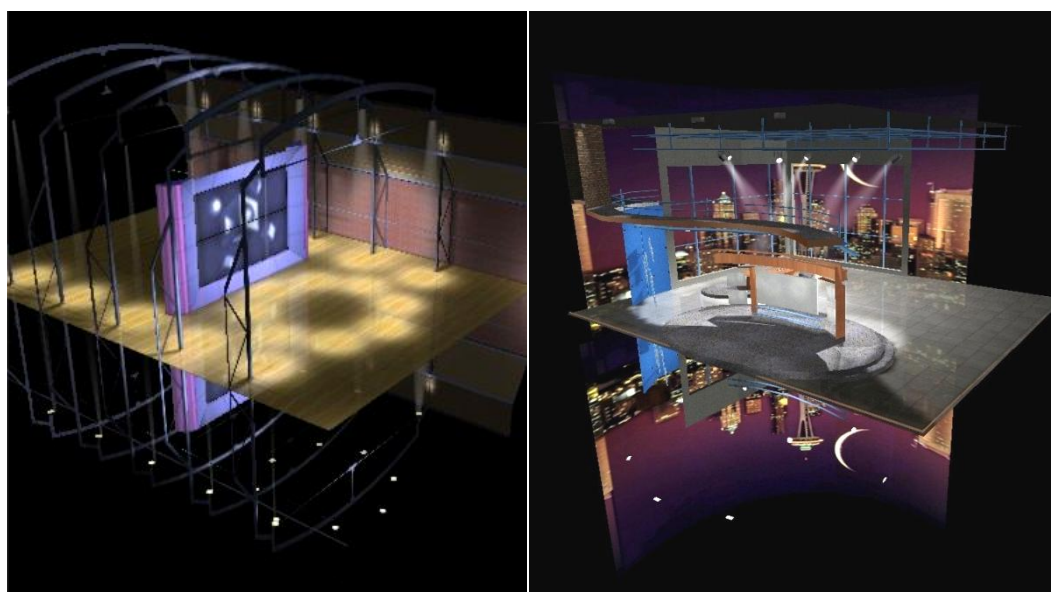


Fig. 110a/110b – A duplicação do cenário para se obterem reflexos no chão é uma prática comum e que resulta bastante convincente. Por outro lado, duplica-se a necessidade de polígonos/texturas pelo que diversas técnicas, são utilizadas por forma a simplificar o cenário suplementar (cenário Brainstorm - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).

Outra das formas de aumentar o realismo de um cenário através de reflexos faz-se através da duplicação do cenário invertido (ver Fig.110). Uma vez que o cálculo de um chão reflexivo convincente seria no tempo-real de uma plataforma televisiva algo inatingível, obtém-se um resultado semelhante aplicando um chão virtual transparente através do qual se observa um duplicado do cenário invertido. Se houver tempo ou se for essencial simplificar o cenário para o seu correcto funcionamento, utilizam-se outras técnicas como a simplificação da geometria ou mesmo a realização de um imagem 2D do cenário original que depois é aplicada invertida em espelho (ver Fig. 111). É ainda possível melhorar o resultado deste tipo de reflexo realizando um efeito de *blur/fade* na borda do cenário de forma a parecer que o reflexo se vai esbatendo (Estanqueiro, RTP).



Fig. 111a/111b – Nestas imagens, observa-se o efeito provocado no chão do cenário pela colocação de um segundo cenário invertido. O facto do chão ser semi transparente permite que se vejam através dele as diferentes silhuetas (cenário Brainstorm - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS).

A questão do tipo de chão utilizado é aliás crucial para se obter um bom cenário. De facto, se o ciclorama abranger de forma uniforme as paredes e o chão do estúdio, a definição do *chroma* da Ultimatte⁵⁸ consegue com alguma facilidade definir as sombras dos objectos reais e dos personagens sobre o ciclorama, podendo então fazer-se a composição digital sobre o chão virtual. No caso da inexistência de um bom ciclorama, a afinação do *chroma* tem de abranger uma gama de verdes ou azuis demasiado alargada acabando por diluir as sombras projectadas no ciclorama. O sistema elimina as sombras recortando apenas a personagem, neste caso torna-se importante a existência de um chão real total ou parcial.

São várias as hipóteses, desde a aplicação de um chão ou plataforma construídos no estúdio ou apenas de um tapete que cubra parcialmente a zona de movimento dos personagens. Neste caso as sombras captadas serão reais sobre um chão real (ver Fig. 112). A prévia preparação do apresentador e dos outros intervenientes evitará que as suas sombras saiam para fora do chão real. Da mesma forma se o chão for virtual a pré-preparação dos intervenientes é essencial para se manter a ilusão. Em casos mais complexos como eleições ou jogos, existem marcas no chão e nas paredes, que ajudam os intervenientes a guiarem os seus passos dentro do estúdio. A cor das marcas é

⁵⁸ A Orad possui um *chroma* interno que ajuda na realização rápida de um *preview* da composição da imagem, contudo insentiva a utilização do programa de *chroma* da Ultimatte considerado o melhor a nível de mercado. Todas as plataformas avaliadas utilizam o *chroma* da Ultimatte.

geralmente da cor do *chroma* apenas ligeiramente diferente, havendo uma abertura do canal que abarque o tom verde ou azul das marcas elas são recortadas juntamente com o fundo.⁵⁹



Fig. 112a/112b – Nestes dois cenários da SIC, optou-se pela captação das sombras das personagens reais sobre um chão real. No primeiro caso, a utilização de um pequeno murete real no fundo do cenário aumenta a credibilidade mesmo criando uma mistura entre o virtual e o real mais convincente. Outros tipos de técnicas de iluminação são aplicadas para que o objecto virtual pareça estar assente sobre o chão real (*bloomgraphics*, n.d.)

Voltando à questão dos materiais que podem ser importados, temos que a aplicação de texturas processuais não pode ser efectuada antes da importação. A sua aplicação fica assim restrita aos *softwares* para plataformas de CV que as disponibilizem como materiais (ver Fig. 113). As texturas processuais têm consumos bastante leves na forma de materiais, sendo possível alterar

⁵⁹ Por outro lado, este método obriga geralmente a que se percam também as sombras provocadas pelos personagens reais sobre o ciclorama.

diversos parâmetros dentro do próprio *software*, adequando a textura do material ao objecto segundo o efeito pretendido.

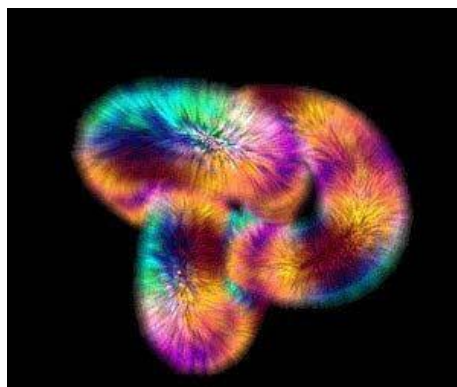


Fig. 113 - Imagem promocional de aplicação de texturas processuais no *software* eStudio (eStudio v.11 - *Brainstorm 10th users Meeting*, 2007).

De igual forma, a utilização de efeitos especiais com sistemas de partículas e cálculos de física, tais como chuva ou nuvens, abrem as possibilidades no campo da interactividade e da animação do cenário. Sendo possível a sua aplicação é realizada no modelo já importado para a plataforma de *render*. Todavia os efeitos especiais consomem bastantes recursos de processamento, pelo que a sua aplicação pode levar o *render engine* a um grande esforço e por em causa o *rendering* do cenário. Mais uma vez será necessário equilibrar as variáveis. Pudemos observar diversos casos da sua aplicação na plataforma da ESCS e constatámos que nas plataformas da SIC e da RTP em Lisboa, instaladas vários anos mais tarde, esse tipo de efeitos são muito mais limitados. No eStudio é possível aplicar efeitos que afectam a própria geometria do cenário, transformando-o num cenário animado e aplicar texturas animadas em constante evolução. Este tipo de características só mais recentemente ficaram disponíveis no *software* da ORAD.

Os efeitos relacionados com a realização, tais como *depth of field* aplicado nas câmaras virtuais, ainda que sejam uma técnica importante também

consomem bastantes recursos da plataforma pelo que são pouco usados.⁶⁰ A sua aplicação é realizada no modelo já importado, através do *software* da plataforma ou de algum *plug-in* compatível com o sistema implantado. Nas plataformas televisivas é utilizado o *plug-in* da Ultimatte, mas no caso da plataforma da ESCS, apesar de trabalharem de igual forma com *software* da Ultimatte para a realização do *chroma*, a plataforma não teve os *upgrades* necessários para poder aplicar esse efeito. Este problema poderá ser a curto prazo eliminado pelo aumento da capacidade das plataformas.

Quanto à iluminação do modelo no *software* da plataforma, a aplicação das *real time lights* é realizada de forma extremamente controlada. Baseando-se a concepção de um cenário na aplicação de *baked textures* de boa qualidade sobre um modelo *lowpoly*, a utilização deste tipo de luz ajuda a denunciar a falta de polígonos. Isto deve-se ao facto das sombras serem calculadas por vértices e geometria e não por *pixel*, não sendo portanto, utilizados os *pixel shaders* que tanto permitem no *render* interactivo de um *videogame*. Posto isto, sempre que se realizar este tipo de iluminação convém que o modelo tenha uma subdivisão harmoniosa ou notar-se-á a geometria partida nas curvas. Quando a geometria é direita este problema acaba por não se por. Estas luzes oferecem poucas opções criativas, existindo apenas 3 parâmetros de configuração, intensidade, atenuação e forma de atenuação. A sua utilização pode ainda gerar incongruências diversas com o tipo de iluminação pré-calculado. Finalmente temos que carregam substancialmente o processamento do sistema. A utilização de um número limitado de luzes (5-8) leva as plataformas avaliadas facilmente a entrarem em esforço.⁶¹

A animação de partes do cenário pode ser realizada no programa de modelação ou no *software* do *render engine*. Todavia, só recentemente começou a ser possível importar animações a partir de *software* compatível, e nem todos os sistemas estão devidamente actualizados para efectuar esse tipo de importações. Dando-se o segundo caso, para os modeladores o processo dentro

⁶⁰ Na vertente pós-produção, a aplicação destes é feitos é bastante comum.

⁶¹ Este parâmetro é altamente relativo, será sempre preciso equacionar as variáveis.

do *software* da plataforma é moroso, pelo que se opta por utilizar apenas os comandos básicos de rotação escala e translação disponíveis no *software* das plataformas. Uma animação mais complexa sendo possível, é um processo lento, quase *frame a frame*, exigindo algum domínio da técnica. Em termos de “tempo” televisivo esta limitação leva a que só em casos excepcionais se realizem animações mais complexas (ver Fig. 115).

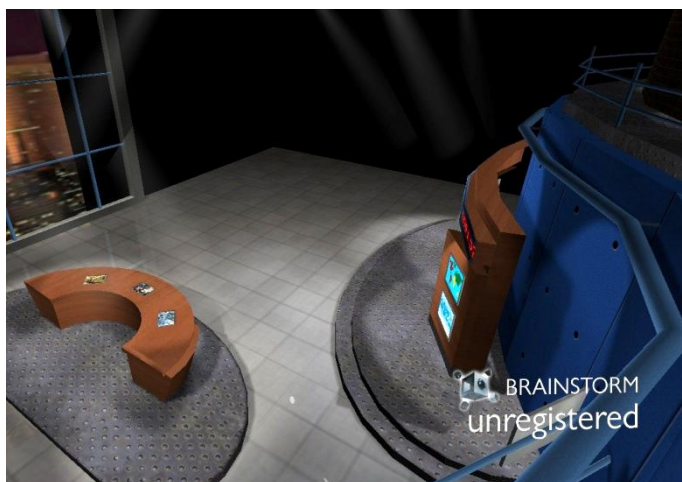


Fig. 114 – Nesta perspectiva a forma como foi colocada a câmara denuncia claramente a falta de polígonos, algo a ter em conta durante a realização do cenário (cenário Brainstorm - imagem disponibilizada por Baptista da ESCS).

Da mesma forma, a aplicação de texturas animadas ou *clip playing* é realizada a partir do *software* do *render engine*. Baseando-se na técnica de aplicação de vídeo como mapeamento de textura, independentemente da forma, podem ser aplicadas a qualquer objecto no cenário texturas animadas ou *videoclips*. O vídeo mapeado pode ser trocado inúmeras vezes a partir do *software* que controla a emissão, oferecendo uma grande liberdade criativa. Os *videoclips* podem ser emitidos em *looping*, em directo ou em diferido e com diferentes *codecs* e resoluções. Independentemente do número de vídeos aplicados o sistema mantém o mesmo *delay* em relação ao *render* do cenário. Na prática, uma vez agregadas as texturas de vídeo ao cenário, são criados botões que automaticamente põem no ar notícias, imagens, animações, etc, aquilo que for necessário para cada programa. Segundo Baptista (ESCS) o *software* está feito de

forma a que mesmo sem se saber programar em código se formatem este tipo de comandos com a maior facilidade.

Em termos de processamento os vídeos e animações têm de ser carregados nos diferentes processadores ao mesmo tempo, cada plataforma terá de processar o mesmo vídeo na perspectiva da câmara que lhe estiver associada. No *software* eStudio é possível designar através de um sistema *remote* um PC que actua como *master* sobre os outros. A partir deste é possível controlar a aplicação de *playouts*, imagens ou animações de objectos de forma a que estas se iniciem em todos os computadores ao mesmo tempo (Baptista, ESCS). É também sobre o cenário completo que através do *software* próprio são inseridos e controlados em tempo-real os diferentes *inputs* que compõem o *branding* dos diferentes canais.⁶² Constatámos que qualquer um dos *softwares* se encontra bem desenvolvido, integrando eficazmente os diferentes elementos no *workflow* televisivo.



Fig. 115a/115b/115c - A presença de *clipplaying* nos cenários virtuais para noticiários é quase uma obrigatoriedade. Vejam-se os três cenários desenhados pela *bloomgraphics* para a SIC (*bloomgraphics*, n.d.).

Finalmente temos que nas plataformas investigadas, o *render* efectuado pelo *render engine* é realizado através de uma só passagem que efectua todos os cálculos. Não existe qualquer paralelização de tarefas e os objectos que compõem o cenário estão todos organizados na mesma *layer*. Resumidamente o tipo de processamento necessário converge para o cálculo da geometria, texturas mapeadas, *sphere mapping* se tiver sido aplicado e alguma luz

⁶² Segundo a ORAD, *software* específico permite criar os modelos de grafismos apenas uma vez e integrá-los em tempo-real em blocos informativos, imagens e videos, sem haver necessidade de criar diferentes versões dos mesmos elementos gráficos para conteúdos diferentes.

ocasional. Nem sempre é possível aplicar o efeito de *anti-aliasing*, dependerá de haver ou não processamento disponível para a sua aplicação (ver Fig. 116).

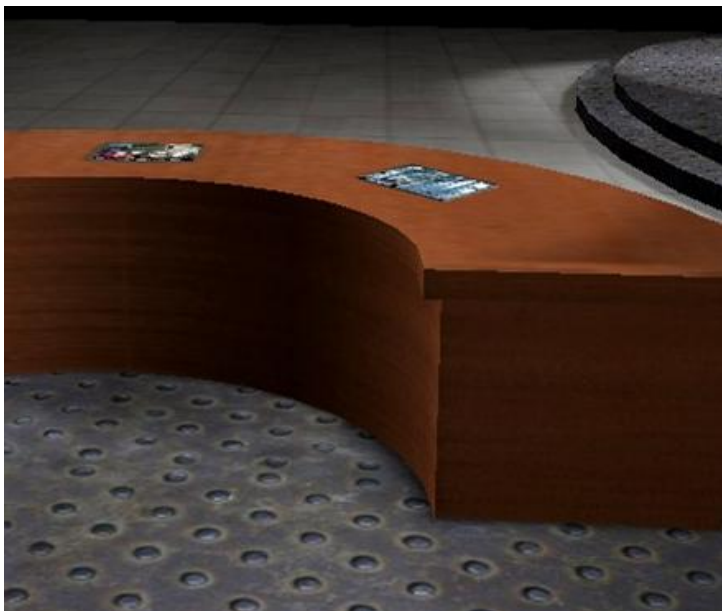


Fig. 116 – Torna-se importante para um bom resultado final da imagem compósita a aplicação do efeito de *anti-aliasing*. Nesta imagem observa-se o efeito serrilhado da borda da secretária, se este for notado quebra-se a ilusão (cenário Brainstorm - imagem disponibilizada por Baptista da ESCS).

Para um PC doméstico isto não representaria um esforço extraordinário e o processamento em tempo-real far-se-ia facilmente. Contudo a técnica da Cenografia virtual é exactamente conseguir misturar imagens geradas virtualmente com toda uma série de outros *inputs* relacionados com a produção de programas televisivos. O objectivo da exposição apresentada neste capítulo e no anterior, é exactamente identificar técnicas de trabalho que possam contribuir para que o *hardware* disponível possa funcionar com segurança sem nunca entrar em esforço, uma vez que este poderá significar uma falha na emissão em directo.

Como forma de controlar os limites do sistema existem alguns métodos auxiliares, ainda que bastante imprecisos, que podem ser consultados ao longo do projecto nas diferentes plataformas e através dos diferentes *softwares*. Na ESCS, o eStudio possui um sistema de gráficos que mostra em tempo-real como é que a navegação por todo o cenário pode necessitar de mais ou menos

esforço de *render*, dependendo das necessidades de processamento nos diferentes enquadramentos possíveis. Torna-se importante salientar que o processamento é realizado apenas sobre a geometria visível. Se este sistema de gráficos estiver no seu limite então é necessário repensar o projecto simplificando o que ainda puder ser alterado ou retirando elementos.

Seguindo o mesmo método, nas plataformas da Orad, o sistema acusa se o processamento se fará ou não em tempo-real, isto é se a velocidade do processamento permite fazer as necessárias 25 *frames* por segundo. Geralmente se o sistema consegue realizar o *rendering* de cerca de 26 ou 27 *frames* por segundo não se arrisca e altera-se o projecto. Contudo se ainda é possível obter umas 100 *frames* por segundo então é possível alterar o projecto conferindo-lhe mais algum detalhe ou característica. Igualmente através da listagem de diversos parâmetros podemos observar de que forma o sistema estará a atingir o seu limite e quais as características do projecto que estão a exigir mais processamento. Segundo Estanqueiro (RTP), muitas vezes acaba por ser por tentativas que se atinge o equilíbrio, pois nem sempre a experiência confere a habilidade de tornar previsível o resultado em determinados aspectos do processo.

Existem várias razões para se evitar levar o sistema ao seu limite. Temos por exemplo que ao instalarmos uma nova *release* do *software* e não fazendo o *upgrade* necessário ao *hardware*, como resultado o último pode não acompanhar as necessidades de processamento de *new features* que venham com ela como *bump mapping* ou *displacement mapping*. Outra das razões que devem levar o *designer*/modelador a ter como premissa básica nunca forçar as plataformas, é o facto de que se surgir algo inesperado ou algo correr mal durante a emissão, se o sistema já estiver sobrecarregado não há espaço de processamento para evitar um *crash* do sistema (Roriz, VANTeC).

Igualmente verificamos, que alguns procedimentos podem levar repetidamente a que o sistema falhe, essas situações devem ser apontadas como críticas, de forma a não serem repetidas. Por último, temos que outra das técnicas utilizadas para se ter a certeza que o sistema não chega ao seu limite é trabalhar

com ficheiros descomprimidos. Para se realizar o *render* de cenários complexos, poderão surgir determinadas perspectivas que exijam um processamento inesperado limitando a capacidade do sistema para descomprimir imagens e *videoclips*.

A terminar este capítulo avaliaram-se as possibilidades de executar o *render* em pós-produção. Apesar de esta ser uma técnica que reconhecidamente produz resultados de excelente qualidade, aproximada à qualidade cinematográfica, segundo os técnicos consultados raramente é utilizada.⁶³ De facto, mesmo quando um programa é gravado e emitido em diferido, como é o caso da produção de programas na ESCS, a realização e gravação do programa com sincronização da imagem real e virtual é feita com produção de imagens em tempo-real. Neste caso serão constrangimentos económicos que levam à utilização da técnica de uma forma quase exclusiva em gravações com sincronização de imagem digital simultânea à captação da imagem real. Segundo Baptista (ESCS) e Duarte (SIC), esta é a única forma de tornar rentável o investimento realizado na plataforma e na sua manutenção. Salvaguarda-se aqui o facto de que sempre que há a necessidade de interação entre objectos virtuais e personagens reais, é uma mais valia poder realizar o processo com pós-produção. Em directo corre-se o risco de quebrar a ilusão quando algum movimento não é seguido como combinado. Através da pós-produção abre-se a possibilidade de repetir algumas cenas, todavia o *rendering* faz-se quase sempre em tempo-real.

⁶³ Empresas publicitárias são quem mais usa este tipo de técnica.

PARTE IV.

Conclusão

Do resultado desta investigação foi possível com base na análise das técnicas aplicadas na concepção de Cenografia Virtual, e através do estudo das dificuldades da sua implementação no meio audiovisual, elaborar um método de trabalho no novo contexto que envolve a profissão do *designer* de cenografia virtual.

Capítulo VIII Conclusões

As palavras de Ezio Manzini revelam-se quase 20 anos depois extremamente exactas, pois sem o domínio da técnica, as dificuldades na produção do “Virtual” são à partida castradoras das possibilidades criativas oferecidas. O tipo de limitações e condicionantes impostas pelas tecnologias modificaram-se por completo, levando a que grande parte da formação adquirida como Designer de Produto se revele improdutivo. Contudo, de facto a consciência desses mesmos limites revela o caminho do “possível”.

Uma vez realizada a contextualização das técnicas que deram origem à aplicação de Cenografias Virtuais no meio audiovisual, apresentaram-se aquelas que foram reconhecidas durante o processo de investigação como técnicas fundamentais para o exercício projectual, quer no presente como num futuro próximo. Por sua vez, a exposição sumária dos resultados da avaliação *in loco* dos métodos aplicados e das dificuldades de implementação da técnica, levaram à identificação das limitações da mesma, no sentido de contornar essas mesmas limitações e de ampliar as suas possibilidades criativas.

Consequência dos passos dados anteriormente, foi possível concluir a investigação com uma proposta de uma metodologia de trabalho para o *designer* de cenografia virtual, envolvendo os diferentes intervenientes do processo e a forma de integração desse mesmo método numa estação televisiva.

O levantamento exaustivo efectuado permitiu ainda apurar, que para o *designer* de CV em funções não se deve pôr a questão se as técnicas aplicadas são as melhores, ou se existem técnicas mais avançadas disponíveis noutras plataformas ou sistemas afins. Estas são de facto as técnicas disponíveis. Se através da construção de um método de procedimentos se consegue um resultado aproximado àquele que seria um exercício de *rendering* sem limites de processamento, então o objectivo fica cumprido. Aquilo que na realidade se pode fazer nos dias de hoje resume-se rudemente a *lowpoly*, *baked textures*, mapeamento e iluminação e sombras pré-calculadas.

Com efeito, concluímos ainda, que a questão não assenta em porque é que o equipamento que está hoje a ser adoptado pela maioria dos operadores não tem a capacidade de processamento necessário para aplicar todas as técnicas que foram apresentadas em investigação, mas no facto de se conseguir ou não através das ferramentas disponíveis iludir o espectador. Na perspectiva do *designer* de CV, este tem apenas que se adaptar sucessivamente à tecnologia disponível obtendo o melhor resultado das suas possibilidades. Consequentemente, o domínio das técnicas de modelação aplicáveis poderão trazer-lhe a possibilidade de organizar melhor o tempo destinado pelo *briefing* em cada fase do projecto, dando-lhe mais liberdade criativa.

O simples facto de os *designers* de cenografias virtuais não dominarem suficientemente bem as técnicas de modelação apropriadas, e de não haver formação adequada a ultrapassar as dificuldades de implementação da tecnologia, impede que se compreendam até que ponto podem ser levados os seus limites criativos. O caminho projectual escolhido acaba por cair frequentemente naquilo que é mais simples e seguro. Manter o cenário agarrado ao que se considera sucesso garantido, a cópia do real, aquilo que se faria com materiais baratos e leves através da concepção do mesmo projecto físico. O pensamento do *designer* fica assim confinado àquilo que o seu raciocínio lhe diz ser possível realizar através de uma materialidade física e não virtual, como seria de esperar atendendo ao carácter virtual do projecto. Não há espaço para evoluir, nem há tempo para investigar. Neste contexto consideramos que se revelariam profícuos projectos de investigação liderados por universidades, com o apoio dos meios audiovisuais.

Finalmente, o período de investigação levou-nos ainda à conclusão de que se a formação disponível na área é de alguma forma insuficiente, o material disponível para o seu estudo encontra-se extremamente disperso e tem de ser procurado dentro de outras áreas afins. Necessitando o *designer*, modelador ou cenógrafo de reunir uma tão grande quantidade de informações e competências para obter um bom resultado, esta falta é porventura uma das razões da evolução desta técnica no meio audiovisual estar a ter uma integração mais lenta do que à

partida se poderia esperar. A permissa de colmatar essa falha foi outra das razões que levaram à execução desta investigação, tentando de uma forma abrangente tornar-se útil não só aos diferentes tipos de formação dada nas diferentes escolas, como também no dia a dia do profissional de cenografia virtual.

Alargando o leque de aplicações da metodologia que a seguir apresentamos, a outras realidades projectuais que envolvam a produção de ambientes virtuais interactivos, e atendendo a que vivemos numa realidade completamente dominada pela produção de imagens digitais, nas perspectivas e contribuições desta investigação quisemos que para além da identificação de conhecimentos válidos para aplicação prática de cenografia virtual, estender as suas possibilidades a outras áreas que se possam desenvolver-se através da utilização de ambientes com navegabilidade em tempo-real e *on the fly*.

Propõe-se assim a utilização da metodologia identificada para construção de ambientes virtuais com geração de imagens em tempo-real, nas seguintes áreas: simulação de situações perigosas, não só na aviação mas também no exército ou em outras profissões de risco que exijam um treino especial; a produção de *walkthroughs* arquitectónicos, através da criação de modelos virtuais para a construção de edifícios, onde é possível navegar explorando o espaço construído,⁶⁴ em projectos educativos, através da criação de ambientes que simulam noções e experiências a apreender por parte dos alunos; nas empresas, onde a oportunidade é aproveitada para encurtar o ciclo de Design e de produção dos seus produtos, simular e testar projectos de engenharia ou como parte integrante de uma estratégia de marketing que viabiliza ao comprador a hipótese de visualizar e interagir com os produtos antes de os adquirir; e por último a sua utilização no âmbito do *cultural heritage*, onde a realização de *walkthroughs* dentro de edifícios construídos nos diferentes períodos da história trazem uma experiência completamente nova, não só a estudantes e investigadores como numa perspectiva mais lúdica a crianças e turistas.

⁶⁴ Estes possibilitam testar a forma como o edifício é iluminado e os ambientes criados, melhorando o controlo de custos, a orçamentação, a manutenção, etc.

Capítulo IX Metodologia de trabalho para o Designer de Cenografia Virtual de uma estação televisiva

Tal como referimos na introdução deste documento, para Luz (2005a), grande parte dos produtores de televisão atentam apenas na vantagem económica da utilização de CV em relação aos custos e espaço que um cenário físico em marcenaria acarretam:

[e]ste é certamente o primeiro erro a ser cometido, pois veja-se como é pobre esteticamente um cenário virtual que procura espelhar materiais realistas. Faltam as texturas orgânicas, brilho natural e sombras projectadas pelos intervenientes no espaço virtual (Luz 2005a).

Luz afirma ainda, não ser este o caminho, e que os computadores não devem ser usados como máquinas de escrever, mas sim como ferramentas que poderão levar à genialidade (Luz 2005a).

Concordamos que uma visão limitada das capacidades desta tecnologia leva facilmente a que se aproveitem apenas algumas das suas vantagens, posto que estas já são bastante satisfatórias do ponto de vista económico, negligenciando-se as suas verdadeiras possibilidades. Partindo destas considerações e das apresentadas por Ezio Manzini, procurou criar-se um método de trabalho que permita ao *designer* de CV através da consciência dos procedimentos, canalizar toda a sua criatividade na busca de novos conceitos estéticos. O domínio das técnicas de modelação servem ao método, como serviriam o domínio das tecnologias dos materiais e dos processos de produção artesanais, semi-artesanais ou industriais, ao método empregue no design de objectos reais. Procura-se uma consciência dos limites como forma de libertar o acto projectual.

8.1 QUADRO DE VARIÁVEIS – CONHECER A PLATAFORMA

Na metodologia sugerida, o processo de adaptação da estação televisiva e de toda a equipa cenográfica envolvida ao método da cenografia virtual, iniciar-se-ia aquando da instalação da plataforma, através da execução de um quadro de variáveis, no sentido de testar as capacidades da plataforma num razoável número de diferentes configurações das variáveis identificadas. Obviamente que os resultados seriam sempre empíricos e não científicos, pelo que não funcionariam com uma regra a seguir mas sim como uma orientação das possibilidades do sistema.

Como este tipo de estudo nunca é disponibilizado pela empresa fornecedora, *designers* e modeladores vão ao longo da experiência testando as capacidades do mesmo, pondo em causa o processo criativo pela tensão agregada às limitações do sistema e desperdiçando muitas horas de trabalho na tentativa de encontrar o equilíbrio entre as variáveis. É importante lembrar que os resultados obtidos variam também nas diferentes plataformas, em função das capacidades dos diferentes *render engines* fornecidos pelas marcas sejam elas ORAD, BrainStorm, Viz, Darim ou Hybrid, entre outras, não só pelo *hardware* fornecido ser proveniente de empresas diferentes como a HP ou a Dell mas também por cada uma das marcas ter investido mais ou menos no desenvolvimento de determinada particularidade (variável) do seu *software*.

8.2 BRIEFING - LIMITES CRIATIVOS

Uma vez razoavelmente identificadas as possibilidades do sistema, o *designer* inicia o projecto virtual através de um *briefing* restrigente, que ajude a criar os limites criativos tornando mais eficaz o processo. Um formato demasiado universal será difícil de alcançar e limita por si só as possibilidades criativas; assim sendo, a clara definição do público-alvo aumentará a velocidade de execução do projecto. Tendo em conta que em televisão o factor tempo é também ele

extremamente limitador, e não existindo espaço para testar diferentes hipóteses (exceptuando-se alguns casos, programas dedicados a eleições, eventos desportivos ou épocas especiais do ano) quanto mais apertado for o *briefing* mais facilmente se procede à realização do projecto.⁶⁵

Dominando as técnicas possíveis de implementar dentro do sistema em que está a trabalhar, estão reunidas as ferramentas que o *designer* de CV necessitará para o desenvolvimento do projecto. Para além das essenciais noções de cenografia, a capacidade de prever a reacção final do utilizador adquirida durante a sua formação e uma cultura visual actualizada dia-a-dia pelo olho crítico de um criativo, tornam-se igualmente importantes ferramentas na procura de inovação dentro dos tipos institucionalizados. A consciência do género de imagens a que o espectador se habituou a visualizar quer através do seu televisor, como no cinema, internet ou através da fruição de videojogos, são outro ponto de partida na consciencialização daquilo que poderão ser as fronteiras da criatividade. Limitando o acto projectual está o facto de que os *standards* pré-estabelecidos são geralmente aqueles que funcionam melhor.

8.3 PLANO DE TRABALHO - CONTEXTUALIZAÇÃO

O terceiro passo implica o delinear de um plano de trabalho de acordo com o *briefing* e o *timing* disponível, e onde ficam igualmente definidos os tipos de suporte (virtuais ou físicos) para apresentar as soluções. Procede-se a uma análise das diferentes cenografias relacionadas ou não, com o mesmo género de programas. Pontos a explorar prendem-se com o estudo da cor, da forma e do conteúdo de informações que este transmitirá.⁶⁶ Na construção da identidade do canal têm-se em conta parâmetros como a paleta de cores (comum a outros programas), as formas/silhuetas básicas que originam os diferentes elementos ou o tipo de realização. Por outro lado, eliminam-se as condicionantes

⁶⁵ Segundo Victor Duarte, responsável pelo departamento de Cenografia e Cenografia Virtual da SIC não há tempo para grandes experiências, apenas pequenas experiências sem prejudicar o andamento normal dos *briefings* e os tempos disponíveis para a execução dos projectos.

⁶⁶Diferentes para concursos, noticiários, boletins meteorológicos, etc.

formais, ergonómicas e de interface dentro daquilo que é o parecer real e funcional.

[o] TV designer precisa de ter uma cultura geral que lhe permita conhecer, representar e executar todo o tipo de cenografia que lhe seja encomendado e ser capaz de projectar um cenário realista, reproduzir um ambiente imaginário ou mesmo antever uma ambientação futurista para as séries de ficção científica. A ambientação que se pretende representar deve ser totalmente compreendida em todas as suas facetas para poder ser projectada.(...) Importa saber e compreender quais as determinantes que caracterizam essa ambiência, como foi desenvolvida, qual o contexto sócio-económico e político em que se insere, qual a actuação das personagens da época, etc. E finalmente é indispensável adequar estes dados à linguagem televisiva. Para a produção final do cenário o tv designer deve também interpretar e adaptar a sua proposta numa base de estreita relação com a encenação (Polainas 1998, p.24).

Aos importantes conceitos apresentados por Polainas na definição das capacidades do cenógrafo televisivo, acrescentamos ainda a necessidade deste compreender o local a partir do qual vão ser emitidos os programas. Contextos sociais, políticos e sobretudo culturais, devem influenciar o processo criativo e como tal podem variar não só de país para país, como de região para região.⁶⁷ Também é importante perceber o estilo de vida dos habitantes e as suas tendências da moda como forma de tentar atingir a faixa de mercado ao qual se destina o programa.

8.4 TRABALHO DE GRUPO – DEPARTAMENTOS SATÉLITES

(...)uma das características específicas desta profissão é a sua intensa e permanente relação de trabalho com todos os técnicos intervenientes no processo de produção. O produto do seu trabalho é assim o resultado de uma completa interactividade profissional (Polainas 1998, p. 24).

Reportando-se este trecho a uma altura em que a Cenografia Virtual não era uma realidade nas televisões portuguesas, julga-se que actualmente a completa entrosagem entre os diversos departamentos, em particular, de

⁶⁷ e.g. Para o noticiário regional seria interessante perceber como é a arquitectura da cidade.

cenografia, de modelação, iluminação, realização e grafismo é cada vez mais a chave do sucesso, especialmente devido ao facto da divisão de tarefas por competências levar por vezes a uma falta de comunicação generalizada.

Assim, consideramos, que para o *designer* de CV trabalhar em parceria com um modelador que vá testando as possibilidades do sistema poderá revelar-se extremamente produtivo. A troca de informações relativas às suas intenções projectuais dar-lhe-ão cada vez mais espaço criativo. Acrescenta-se ainda que o *designer* respeitando aquilo que são as condicionantes expostas para a modelação 3D nesta investigação, poderá terminar o seu trabalho projectual ainda na fase de *layout de cena*, encarregando o modelador de fazer a respectiva importação e preparação para o *render* em tempo-real. Consequentemente, o *designer* de CV terá mais disponibilidade para abarcar outros projectos da estação televisiva.

Concomitantemente, poderá existir ainda a situação em que o *designer* que sabe modelar segundo as necessidades das plataformas, poderá eliminar a necessidade da existência de um modelador na equipa cenográfica. Tendo em conta o fluxo de trabalho de pequenas produtoras de audiovisual ou canais de carácter regional ou alternativo, fará sentido que o grupo de trabalho seja tão reduzido quanto possível. Com grandes emissoras passa-se o oposto, com um fluxo de trabalho intenso é desejável toda uma equipa constituída por diversos elementos provenientes de uma cultura arquitectónica, cenográfica, do design de produto e de interiores.

Da mesma forma um razoável conhecimento das possibilidades de iluminação, atendendo à importância que esta assume em cenografia virtual, deve passar não só pelas competências do iluminador mas também do cenógrafo e do modelador. Toda a iluminação real tem de ser articulada com a iluminação simulada, como tal muitas seriam as possibilidades que poderiam surgir de um esforço conjunto.⁶⁸

⁶⁸ '[o] risco que se corre no desenho de luz para programas com cenário virtual está justamente na perda de unidade da cena. E isso pode acontecer quando parte da luz for pensada pelo *designer* do cenário virtual e parte pelo iluminador, o que acaba gerando conflito no espaço cênico. Quando as

Quanto ao realizador este poderá contribuir para o processo criativo através de uma definição clara do tipo de realização, expondo o tipo de movimentos de câmara e planos mais abertos ou mais fechados que tenciona utilizar, dando aso à construção de um *storyboard* tipo do programa. Para o realizador é importante que o *designer* consiga desenhar os diferentes objectos na profundidade de forma a que, consoante o ângulo em que se filmam as pessoas, estas apareçam à frente ou atrás do cenário. Os diferentes níveis de profundidade podem ser dados não só pelos objectos mas também pela forma como são colocadas as luzes. Truques como a utilização de monitores, janelas e imagens de paisagens são outra forma de dar profundidade ao cenário. Para se não perceber a virtualidade do cenário é preciso insistir que independentemente do ângulo de câmara utilizado ou do plano ser aberto ou fechado continuamos a sentir diferentes níveis de profundidade. Sombras e linhas de perspectiva são fortes auxiliares que ajudam a criar a ilusão.

Criativamente temos ainda que o facto do departamento de grafismos ser geralmente independente da criação de cenários, não ajuda à realização de uma imagem final coerente. Mais uma vez a comunicação com os criativos gráficos poderia enriquecer reciprocamente os dois departamentos, melhorando a metodologia processual aplicada.

8.5 PROJECTO - EXECUÇÃO DO MODELO

Passando à fase de execução do modelo torna-se necessário escolher o método mais eficaz de modelação dentro do que será razoável entre o limite de tempo e o melhor resultado visual. Numa fase equivalente à fase de materialização do conceito do projecto de design, onde são delineadas as fronteiras e o ordenamento do espaço, define-se o tipo de interacção do nosso cenário com aquela que vai ser a imagem real a integrar na imagem compósita

iluminações do cenário e do apresentador não se apresentam integradas, os objetos assumem suas diferentes naturezas e acabam por revelar o artifício de simulação da construção de um espaço compartilhado (Cardoso cit. Cardoso; Santos; Vargas 2009, chp. 2, pp. 43-60).'

final. Paralelamente projectam-se os objectos que povoarão o estúdio real em concordância com o cenário virtual.

[p]or serem de naturezas distintas, não se pode afirmar que o cenário virtual seja uma evolução do cenário convencional, também não se pode dizer que seja uma ruptura com este sistema, já que faz uso de determinados códigos que compõem a já consolidada linguagem da cenografia televisiva (Cardoso cit. Cardoso; Santos; Vargas 2009, chp. 2, pp. 43-60).

De facto, no exercício projectual o *designer* de CV pode ser levado a pensar que se encontra entre dois caminhos possíveis. No primeiro opta-se por projectar algo de muito parecido com o convencional e de carácter fotorealista. No segundo, é favorecido o género *cartoon* ou a ficção científica. Contudo, outros caminhos são já explorados dentro daquilo que se consideram os cânones de uma linguagem televisiva e aquilo que os espectadores vão admitindo como confortável apesar de claramente virtual. Pontualmente tem sido possível observar cenários bastante irrealis que foram bem aceites pelo público, enquanto noutras tentativas em programas onde se arriscou mais por serem programas para jovens e crianças os resultados terão sido menos bons. Nesta fase será ainda de extrema importância ouvir a opinião do cliente/produtor: "[t]his is the cardinal role of any *designer*. Once you understand your client's message, you can explore the boundaries of how far they want to push the design visually (Devling cit. Doyle 1999)".

Durante o acto projectual o *designer* de CV deve ter consciência de que um cenário marcante tem um forte impacto na percepção dos espectadores. Da mesma forma que na criação de um cenário físico televisivo, cinematográfico ou para o teatro, existem critérios na escolha do mobiliário, tecidos, cores e luzes, também existem regras no design de cenários virtuais. Deve ser afastada a ideia de que tudo é possível. Apesar do *designer* de CV e produtor em pré-produção poderem explorar diversas possibilidades, a verdade é que para o espectador demasiados elementos acabam por o distrair daquilo que é concretamente o programa. Entre outras coisas: não se deve abusar da utilização de elementos animados, reduzindo-se ao essencial a sua aplicação; é preciso ter o cuidado de não desenhar os cenários de forma tão elaborada que os espectadores fiquem

distraídos do apresentador/actor; e acima de tudo deve-se evitar sentir que haja competição entre o cenário e as personagens, um bom cenário é por natureza um bom *background* (Doyle 1999).

No design dos objectos reais é importante não só a sua conjugação com o cenário virtual, como a sua conjugação com os adereços reais. O facto de se integrarem elementos reais e funcionantes com os quais o apresentador/actor possa interagir oferece-lhes a possibilidade de terem um referencial, facilitando-lhes a experiência de trabalharem com *blue/greenscreen*. Posto isto, é conveniente que a proposta de intenção formal seja realizada através de esboços e/ou *renders* com simulação da interação dos intervenientes, de forma a ter-se a noção do seu funcionamento e dimensões antes da sua utilização. Diferentes estudos de forma e cor poderão ser apresentados, assim como de funcionamento da movimentação dos personagens dentro do estúdio.

Dentro dos constrangimentos do tipo de modelação possível para a plataforma de *render* e a pesquisa efectuada para o tipo de programa, é sempre um objectivo que através da introdução de novas características no nosso cenário, se consiga aumentar o *share* ou pelo menos conseguir a fidelização de um público alvo já existente.

Poderão ser necessários acertos no modelo de carácter técnico ou criativo, todavia, uma vez aprovado o projecto pelo gabinete de programação, passa-se à formalização do conceito através da concepção do modelo tridimensional devidamente rectificado e adaptado a uma composição com a imagem real. Escolhido o *layout de cena* e realizados os *renders* necessários para a obtenção de texturas, o modelo é preparado para ser importado e compatibilizado com a plataforma de *render* em tempo-real.

8.6 IMPORTAÇÃO - FINALIZAÇÃO DO MODELO

Dentro do *software* de modelação da plataforma são aplicados diferentes processos de simulação de transparências, reflexos, luzes, sombras,

bump mappings entre outros que como já referimos não podem ser importados a partir de programas de modelação tais como o Blender ou 3dsMax, e procedem-se aos ajustes do modelo à plataforma. Se esta acusar uma sobrecarga no processamento poderá ser necessário rectificar o projecto no *software* de base e re-importar para o sistema. Geralmente há sempre que fazer compromissos, prescindindo de um ou outro efeito em detrimento de melhor qualidade da imagem final com um *rating* interactivo de 25 a 30 *frames* por segundo. O modelo é testado as vezes necessárias dentro do programa de *render* da plataforma, até que o ficheiro fique pronto para ser carregado na memória do GPU e utilizado na emissão de programas gravados em tempo-real ou emitidos em directo.

8.7 EVOLUÇÃO METODOLÓGICA

Apesar da implementação desta técnica se fazer lentamente em virtude da maneira como a relação mercado-cliente direccionou o crescimento das empresas que fornecem as estações televisivas, e pela forma como se fez a implementação da tecnologia, aos poucos as novas técnicas de modelação 3D vão ficando disponíveis. Se por ventura, actualmente o *designer* tem de se reportar ao método projectual de há 10 anos atrás, estará para breve um salto na qualidade do trabalho realizável nas plataformas televisivas. Provavelmente graças à aplicação das novas placas gráficas Quadro ou mesmo Tesla utilizadas na execução das cenas mais complexas do filme Avatar (*NVIDIA*, n.d.).

Dentro deste panorama, podemos avaliar que a grande diferença em relação ao método de trabalho projectual do cenógrafo televisivo, recai no facto de que o *designer* de cenografia virtual televisivo tem de realizar uma actualização constante dos seus métodos projectuais em função das possibilidades do sistema, reinventando constantemente os seus limites criativos.

Capítulo X Perspectivas de Investigação

Na televisão, os cenários precisam de ser desenvolvidos de acordo com as regras e conceitos do programa, em todo o caso se o zapping é uma realidade e o tempo de antena a sobrevivência de muitos, é necessário que o ambiente do programa possa cativar o espectador no imediato como acontece nos bons jogos de computadores ou outras narrativas. (...)No acto do Zapping, temos poucos segundos para agarrar o nosso espectador, logo o primeiro “rebuçado” é entregue no genérico, depois é necessário conteúdos pertinentes e actualizados, para finalmente enquadrá-los num espaço atraente, moderno, dinâmico e comunicativo. Mesmo com assuntos relevantes e comunicadores natos, a audiência dificilmente se entrega a um programa. A arquitectura do espaço tem de conter objectos que estimulem a criatividade, a memória do espectador, pois para o fidelizar temos de comunicar com clareza, para que no final ele possa assimilar o máximo de informação possível (Luz 2005a).

O universo televisivo na sua diversidade de conteúdos programáticos, tem um universo de telespectadores com características muito diferentes. Por sua vez, estes reagem emocionalmente interagindo activamente com os programas. Considerando-se a Cenografia Televisiva como uma forma de cativar as audiências, levanta-se a questão: de que forma podemos sistematizar o que leva as pessoas a aceitarem a Cenografia Virtual e a torná-la mais familiar e emocional? Serão a imersividade e a ilusão dos sentidos pontos chave para “agarrar” o espectador? Dominada a técnica ficam ainda este tipo de questões tão ou mais importantes por responder. Tal como a Bauhaus no seu tempo instituiu aquilo que seriam os princípios estéticos durante o séc. XX, torna-se necessário investigar aquilo que poderá estar por detrás de uma nova estética que apenas deve o seu advento às possibilidades criativas dos mundos virtuais.

Se esta dissertação teve o objectivo de libertar a técnica dos seus constrangimentos pelo domínio das ferramentas, fê-lo também no sentido de abrir caminho para que se possam dar outros passos num futuro próximo, numa área ainda pouco desbravada pela comunidade científica. As cenografias a pouco e pouco vão deixando de copiar fielmente aquilo que poderia ser uma cenografia real e novos caminhos começam a explorar-se. Contudo, *designers*, arquitectos e cenógrafos vão trilhando lentamente um caminho experimental, num terreno

salpicado de areias movediças. Em televisão, não é economicamente “viável” arriscar audiências. Entrevemos, que seria uma mais valia para todo o meio audiovisual, que se investigasse aquilo que poderá estar por detrás de uma nova “estética virtual”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - IMPRESSOS

Barata, J & Santos, J 2010, *3ds Max - Curso Completo*, FCA - Editora de Informática - Autodesk Authorized Publisher, Lisboa

Manzini, E 1993, *A matéria da invenção*, Colecção "Design, Tecnologia e Gestão", Ed. Centro Potuguês de Design, Lisboa

Polainas, AF 1998, *Cenografia e televisão em Portugal (1957-1992)*, Dissertação de Mestrado, Universidade Lusíada, Lisboa, Texto Policopiado

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS – ELECTRÓNICOS

300 - *The complete experience*, About the Movie > Production notes, © 2007 Warner Bros. Ent. retirado da internet 11 de Novembro de 2009, <<http://www.300ondvd.com/300.html>>

3dRender.com, Home > Glossary > Direct light/ Indirect light, © 2002 by Jeremy Birn, retirada da internet em 24 de Julho de 2010, <<http://www.3drender.com/glossary/index.htm>>

A Brief History of Computer Graphics, 2004, retirado da internet em 9 de Janeiro de 2010, <http://www.comphist.org/computing_history/new_page_6.htm>

A História da Televisão: da sua invenção ao início das transmissões a cores, © MAGIA Comunicações 1998 - 2010, retirado da internet em 14 de Janeiro de 2010, <<http://www.tudosobretv.com.br/historvtv/histormundi.htm>>

Albuquerque, ALPA 1999, *Cenários Virtuais com um estudo de Sincronismo de Câmara*, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, retirado da internet em 10 de Novembro de 2008, <www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Cinema%20V%EDdeo%20e%20TV/cenarios_virtuais/Cenarios%20Virtuais.pdf>

Amado, AEP 2007, *Avaliação de Usabilidade de Ambientes de Realidade Virtual e Aumentada*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, retirado da internet em 23 de Março de 2009, <<http://biblioteca.sinbad.ua.pt/Teses/2008000403>>

Ana, L, n.d., *Virtus Realitatis: Ensaio sobre Realidade Virtual*, retirado da internet em 27 de Janeiro de 2009, <http://www.cultkitsch.org/tecno/realidade_virtual_files/realidade_virtual.htm>

Autodesk 3ds Max® 2011 Help, © 2000-2010 Autodesk, retirado da internet em 23 de Junho de 2010, <<http://docs.autodesk.com/3DSMAX/13/ENU/Autodesk%203ds%20Max%202011%20Help/index.html>>

Autodesk Maya Help 2011, n.d, User Guide > Modeling > NURBS Modeling > NURBS menus > Surfaces > Loft, © 2000-2010 Autodesk, retirado da internet em 23 de Junho de 2010, <<http://download.autodesk.com/us/maya/2011help/index.html>>

Baas, M 2005, 'Baking Texture Maps', *CGKit Tutorial*, retirado da internet em 6 de Julho de 2010, <<http://cgkit.sourceforge.net/tutorials/baking/baking.html>>

Barret, P 2004, *Tricky Business - LiveWire*, retirado da internet em 29 de Novembro de 2009, <<http://www.theage.com.au/articles/2004/06/23/1087845000403.html?from=storylhs>>

BBC Research - Production Magic, BBC © MMX <<http://www.bbc.co.uk/rd/projects/virtual/index.shtml>>

Birn, J 2000a, 'Render passes, Layers and 3D compositing' in Digital Lighting & Rendering, *3DRender.com*, © 2000-2006 by Jeremy Birn, retirado da internet em 30 de Abril de 2010 <<http://www.3drender.com/light/compositing/index.html>>

Birn, J 2000b, 'A look at Caustics' in Digital Lighting & Rendering, *3DRender.com*, © 2000-2006 by Jeremy Birn, retirado da internet em 30 de Abril de 2010 <<http://www.3drender.com/light/caustics.html>>

Bishop, G, McAlister, D & Oliveira, MM 2000, *Relief texture mapping*, University of North Carolina at Chapel Hill, Proceedings of SIGGRAPH 2000, © 2000 by ACM, acedido em CiteSeerX, retirado da internet em 27 de Abril de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.42.8685>>

Bishop, G, McAlister, D & Oliveira, MM 2000, *Relief texture mapping*, University of North Carolina at Chapel Hill, Proceedings of SIGGRAPH 2000, © 2000 by ACM, acedido em CiteSeerX, retirado da internet em 27 de Abril de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.42.8685>>

Blender.org, n.d. a, Blender Doc:Manual, retirado da internet em 30 de Abril de 2010, <<http://wiki.blender.org/index.php/Doc:Manual>>

Blender.org, n.d. b, 'Doc:br/manual/modeling/curves', 2010, retirado da internet em 17 de Abril de 2010, <<http://wiki.blender.org/index.php/Doc:BR/Manual/Modeling/Curves>>

Blender.org, n.d. e, 'Doc:Manual/Modeling/Meshes/Subdivision Surfaces', retirado da internet em 12 de Abril de 2010, <http://wiki.blender.org/index.php/Doc:Manual/Modeling/Meshes/Subdivision_Surfaces>

Blender.org, n.d. f, 'Ambient Occlusion', retirado da internet em 25 de Junho de 2010, <<http://www.blender.org/development/release-logs/blender-233/ambient-occlusion/>>

bloomgraphics, Global Media & Technology Solutions, retirada da internet em 26 de Junho de 2010, <<http://bloomgraphics.tv/>>

Brainstorm Multimedia, Home > Corporate > History, © 2007 Brainstorm Multimedia S.L., retirado da internet em 16 de Março de 2009, <http://www.brainstorm.es/newweb/history.php>

Brief Biography of Jaron Lanier, n.d., retirado da internet em 27 de Janeiro de 2009, <<http://www.jaronlanier.com/general.html>>

Brito, A 2009a, *How to use alpha maps to render trees in LuxRender and Blender 3D*, Blender 3D Architect, retiradas da internet em 15 de Setembro de 2010, <<http://www.blender3darchitect.com/2009/07/how-to-use-alpha-maps-to-render-trees-in-luxrender-and-blender-3d/>>

Brito, A 2009b, *Modelagem de personagens Low Poly no 3ds Max*, retirado da internet em 4 de Abril de 2010, <<http://www.allanbrito.com/2009/02/12/modelagem-de-personagens-low-poly-no-3ds-max/>>

Bump mapping, AbsoluteAstronomy.com © 2010, retirado da internet 27 de Abril de 2010, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Bump_mapping>

Bunnell, M 2005a, 'Adaptive Tessellation of Subdivision Surfaces with Displacement Mapping' in GPU Gems 2, Chp.7, NVIDIA - developer zone, retirado em 11 de Junho de 2010, <http://http.developer.nvidia.com/GPUGems2/gpugems2_chapter07.html>

Bunnell, M 2005b, 'Dynamic Ambient Occlusion and Indirect Lighting' in GPU Gems 2, chp.14, NVIDIA developer zone, retirado da internet em 18 de Maio de 2010, <http://http.developer.nvidia.com/GPUGems2/gpugems2_chapter14.html>

Campbell, A, n.d., 'High definition gaming', *Driver Heaven: Hardware Reviews*, © 2010 Heaven Media Ltd, retirado da internet em 24 de Maio de 2010, <<http://www.hardwareheaven.com/reviews/X800XTdhrefview/highdefinationgaming.htm>>

Cardoso, JBF 2009, 'Cenografia Virtual: o cenário atual e o cenário possível' in Santos; Vargas; Cardoso 2009, *Mutações da Cultura Midiática*, Ed.Paulinas, S.Paulo, Chp. 2, pp. 43-60, material disponibilizado digitalmente pelo autor

Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation*, Section19/17/5, The Ohio State University, retirado da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>

CGW.com, 2010, 'Allegorithmic unveils Substance Redux automatic texture compression tool', © 2009 Computer Graphics World, retirado da internet em 30 de Maio de 2010, <<http://www.cgw.com/Press-Center/News/2010/Allegorithmic-Unveils-Substance-Redux-Automatic-.aspx>>

Chang, MT 2009, *A Brief History of Computer Graphics*, retirado da internet em 9 de Janeiro de 2010, <<http://www.articlesbase.com/computers-articles/a-brief-history-of-computer-graphics-741121.html>>

Chroma-key, AbsoluteAstronomy.com © 2010, retirado da internet 30 de Novembro de 2009, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Chroma_key>

Computer Rendering, © 2010 WordIQ.com, retirada da internet em 25 de Junho de 2010, <http://www.wordiq.com/definition/Computer_rendering>

Coombe, G, Frahm, JM & Lastre, A 2008, *Capturing a Surface Light Field under Virtual Illumination*, University of North Carolina at Chapel Hill, Proceedings of 3DPVT08 - the Fourth International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, Georgia Institute of Technology, Atlanta, EUA, retirado da internet em 23 de Março de 2010, <http://www.cs.unc.edu/~jmf/publications/3DPVT08_Coombe_et_al.pdf>

Cubillo, E 2008, *Escenografía virtual en TV. Análisis del uso de escenografía virtual en la realización de un programa de televisión*, Revista Latina de Comunicación Social, 63, p. 31-42, Universidad de La Laguna, Laguna, retirado da internet em 9 de Novembro de 2008, <http://www.ull.es/publicaciones/latina/_2008/04/Galan_Cubillo.html>

Cummins, 2007, *Smoke, Fire and Water*, retirado da internet em 29 de Maio de 2010, <http://www.lfpug.com/presentations/2007_02_22_cummins/2007_02_22_cummins.pdf>

Darim Broadcasting, 'Virtual Production Studio', © Copyright 2010 Darim International Corp., retirada da internet em 4 de Julho de 2010, <http://www.darim.tv/products/virtual_studio/vs_con_diag>

Debevec, E , Yu , Y & Borshukov, G 1998, *Efficient View-Dependent Image-Based Rendering with Projective Texture-Mapping*, acedido em CiteSeerX, retirado da internet em 5 de Julho de 2010 <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.2.3646>>

Dias, J 2007a, *Arquitetura do Improviso: Cenografia*, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, retirado da internet em 30 de Dezembro de 2008, <http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5661/trabalhos_2007-1/improviso/cenografia.html>

Dias, J 2007b, *Arquitetura do Improviso: Cenografia Virtual no Brasil*, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, retirado da internet em 30 de Dezembro de 2008, <http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5661/trabalhos_2007-1/improviso/cenografiabrasil.html#menu>

digitalacting.com, 2010, 'James Cameron Performance Capture re-invented AVATAR – Interview', © Digital Acting, retirada da internet em 7 de Março de 2010, <<http://www.digitalacting.com/2010/02/08/james-cameron-performance-capture-re-invented-avatar/>>

Donnelly, W 2005, *Per-Pixel Displacement Mapping with Distance Functions*, in GPU Gems 2, Chp. 8, University of Waterloo, Nvidia developer zone, retirado da internet em 3 de maio de 2010, <http://http.developer.nvidia.com/GPUGems2/gpugems2_chapter08.html>

Doyle, A 1999, 'Virtual Sets: Designing for Broadcast', *Digitalcontentproducer.com: Millimeter*, © 2010 Penton Media, Inc., retirado da internet em 23 de Janeiro de 2010, <http://digitalcontentproducer.com/mag/video_virtual_sets_designing/>

Erland, J 1982, *Reverse or Negative Bluescreen Travelling Matte Process*, © 1983 by the Society of Motion Picture and Television Engineers, retirado da internet 30 de Novembro de 2009, <<http://www.digitalgreenscreen.com/smptrbs.html>>

Evans, C 2003, *Adding detail to subdivision surface models*, © 2003 All artworks Christopher Evans, retirado da internet em 12 de Abril de 2010, <http://chrisevans3d.com/tutorials/adv_subd.htm>

The execution of Mary Stuart, n.d., retirado da internet em 13 Janeiro de 2010, <http://www.cinemedioevo.net/Film/cine_stuart_varii.htm>

Fernando, R & Kilgard, MJ, 2003, 'Environment Mapping Techniques' in *The CG Tutorial: the Definite Guide to programmable Real-Time Graphics*, Ed. Addison Wesley Professional, Chp.17, acedido em developer.com, © 2010 QuinStreet Inc., retirado da internet em 8 de Maio de 2010, <<http://www.developer.com/lang/other/article.php/2169281>>

Fielding, R 1985, 'How Digital Matte Painters Work: Film Matte Painting', in *Work the technique of special effects cinematography*, acedido em howstuffworks.com, ©1998-2010 HowStuffWorks, Inc., retirado da internet em 28 de Novembro de 2009, <<http://entertainment.howstuffworks.com/digital-matte-painter1.htm>>

Fox, D, 'Virtual Sets Get Ready For Takeoff', *urbanfox.tv*, © 2000-2003 urbanfox.tv, retirado da internet em 23 de Janeiro de 2009, <<http://www.urbanfox.tv/production/p9virtualsets.htm>>

Furio - Fx-motion.com, n.d., Applications > Virtual Studio, retirado da internet em 22 de Fevereiro de 2010, <<http://www.fx-motion.com/>>

Garside, R 2006, 'Procedural textures: Gaming's Future', *bit.tech.net*, retirado da internet em 30 de Abril de 2010, <http://www.bit-tech.net/gaming/2006/11/09/Procedural_Textures_Future_Gam/1>

George, DDM 1991, *The Special Effects of "2001: A Space Odyssey"*, retirado da internet em 1 de Dezembro de 2009, <<http://www.palantir.net/2001/meanings/dfx.html>>

Giles, M 2008, *CUDA Programming on NVIDIA GPUs - Lecture 1: CPUs and GPUs*, Oxford-Man Institute of Quantitative Finance Oxford e-Research Centre, retirado da internet em 25 de outubro de 2010, <<http://people.maths.ox.ac.uk/gilesm/cuda/lecture1.pdf>>

Grau, O 2005, *A 3D production pipeline for special effects in TV and film*, White Paper 108, BBC Research & Development, retirado da internet em 12 de Janeiro de 2009, <<http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp-pdf-files/WHP108.pdf>>

Grau, O, Koch, R, Lavagetto, F, Milne, M, Murphy, E, Price, M, Razzoli, O, Sarti, A, Spallarossa, L, Tubaro, S & Woetzel, J 2003, *New production tools for the planning and the on-set visualisation of virtual and real scenes*, White Paper 073, BBC Research & Development, retirado da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp-pdf-files/WHP073.pdf>>

Hachisuka, T 2005, 'High-Quality Global Illumination Rendering using Rasterization' in *GPU Gems 2*, Chp. 38, acedido em NVIDIA - developer zone, retirado da internet em 11 de Junho de 2010, <http://http.developer.nvidia.com/GPUGems2/gpugems2_chapter38.html>

Hormby, T 2007, *The Pixar Story: Dick Shoup, Alex Schure, George Lucas, Steve Jobs, and Disney*, retirado da internet em 3 de Dezembro de 2009, <<http://lowendmac.com/orchard/06/pixar-story-lucas-disney.html>>

Hummelstrand, J 2006, *General Specialist - Greenscreen and Bluescreen checklist*, retirado da internet em 25 de Fevereiro de 2010, <<http://generalspecialist.com/2006/10/greenscreen-and-bluescreen-checklist.asp>>

IMDb: Internet Movie Data base, 'Biography for Georges Méliès', © 1990-2010 IMDb.com, Inc. , retirado da internet em 15 de Janeiro de 2010, <<http://www.imdb.com/name/nm0617588/bio>>

Instituto Superior Miguel Torga, 2009, retirado da internet em 31 de Março de 2009, <<http://www.ismt.pt/>>

Ivan, M, 2010, *5 Things you need to know about raytracing*, retirada da internet em 14 de Março de 2010, <<http://www.pxleyes.com/blog/2010/03/5-things-you-need-to-know-about-raytracing/>>

Kautz, J & Seidel, HP 2001, *Hardware accelerated displacement mapping for image based rendering*, Max-Planck-Institut für Informatik, Saarbrücken, Germany, acedido em CiteSeerX, retirado da internet em 29 de Abril de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.3.9541>>

Lacombe, P 1998, 'Accom ELSET Virtual Set: POP Tackles Weekly Program of Real-Time Animation with Virtual Set Technology', *Digitalcontentproducer.com: Millimeter*, © 2010 Penton Media, Inc., retirado da internet em 14 de Março de 2010, <http://digitalcontentproducer.com/mag/video_accom_elset_virtual/>

Lehtinen, A 2009, *3D Graphics*, retirado da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://knol.google.com/k/3d-graphics#>>

Luz, FC 2006a, *Tutorial de iluminação (Hollywood Set e Global Illumination)*, ULHT, Lisboa, Movlab > Tutorials, retirado da internet em 9 de Julho de 2010, <http://movlab.ulusofona.pt/cms/templates/movlab/files/3d/4_tut_ilumin.pdf>

Luz, FC 2006b, *Texturização de objectos por Unwrap*, ULHT, Lisboa, Movlab > Tutorials, retirado da internet em 9 de Julho de 2010, <http://movlab.ulusofona.pt/cms/templates/movlab/files/virttools/29tut_vir_unwrap.pdf>

Luz, FC 2006c, *Tutorial modelação e optimização de polígonos*, ULHT, Lisboa, Movlab > Tutorials, retirado da internet em 4 de Outubro de 2009, <http://movlab.ulusofona.pt/cms/templates/movlab/files/virttools/28tut_vir_modelacao.pdf>

Luz, FC 2006d, *2º Workshop de Cenografia Virtual*, ULHT, Lisboa, retirado da internet em 16 de Novembro de 2007, <<http://paginas.ulusofona.pt/p2052/experiencias/cvirtual.pdf>>

Luz, FC 2005b, *Realidades Mistas: Interfaces para corpos biotecnológicos*, ULHT, Lisboa, retirado da internet em 27 de Janeiro de 2009, <<http://paginas.ulusofona.pt/p2052/experiencias/rm.html>>

Luz, FC 2005a, *Cenografia Virtual – Construir ambientes digitais*, ULHT, Lisboa, retirado da internet em 26 de Janeiro de 2009, <http://paginas.ulusofona.pt/p2052/experiencias/filipeluz_cenografiavirtual.html>

Luz, FC 2002, *Manual de apoio Softimage XSI 2.0*, Licenciatura em Cinema, Vídeo e Comunicação Multimédia, ULHT, Lisboa, retirado da internet em 16 de Dezembro de 2008, <<http://paginas.ulusofona.pt/p2052/sebxsi/index.html>>

McGregor, N 2009a, *What is 3D spline modeling and patch modeling? The benefits of spline 3d meshes in organic human character modeling*, suite 101®.com, retirado da internet em 12 de Abril 2010, <<http://www.suite101.com/content/what-is-3d-spline-modeling-and-patch-modeling-a108228>>

McGuire, M & McGuire, M 2005, *Steep Parallax Mapping*, Iron Lore Entertainment, I3D 2005 Poster, Brown Technical Report, retirado da internet em 27 de Abril de 2010, <<http://graphics.cs.brown.edu/games/SteepParallax/index.html>>

McGuire, M & McGuire, M 2005, *Steep Parallax Mapping*, Iron Lore Entertainment, I3D 2005 Poster, Brown Technical Report, retirado da internet em 27 de Abril de 2010, <<http://graphics.cs.brown.edu/games/SteepParallax/index.html>>

Mental Ray Manual, n.d. b, 'Area light sources', ©1986-2008 by mental images GmbH, retirado da internet em 17 de Julho de 2010, <<http://download.autodesk.com/us/maya/2009help/mr/manual/node16.html>>

Mental ray Manual, n.d.c, 'Hardware vs. Software Rendering', © 1986-2008 by mental images GmbH, retirado da internet em 13 de Julho de 2010, <<http://download.autodesk.com/us/maya/2009help/mr/manual/node57.html>>

Mental ray Manual, n.d. d, 'Multipass Rendering', © 1986-2009 by mental images GmbH, retirado da internet em 17 de Julho de 2010, <<http://download.autodesk.com/us/maya/2010help/mr/manual/node97.html>>

Milestones in Film History: Greatest Visual and Special Effects and Computer-Generated Imagery (CGI) - part 12, © 2010 American Movie Classics Company LLC., retirado da internet 30 de Novembro de 2009, <<http://www.filmsite.org/visualeffects.html>>

Miller, K 1999, 'Flipcode Articles: Daily Game Development News & Resources', 1999-2008 © *Flipcode.com*, retirado da internet em 7 de Julho de 2010, <<http://www.flipcode.com/archives/articles.shtml>>

NHK Science & Technologie Research Laboratories, n.d., Research Areas, retirado da internet em 25 de Janeiro de 2010, <<http://www.nhk.or.jp/str/english/index.html>>

Normal mapping, *AbsoluteAstronomy.com* © 2010, retirado da internet 29 de Abril de 2009, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Chroma_key>

NVIDIA, n.d., 'NVIDIA Collaborates With Weta to Accelerate Visual Effects for Avatar', © 2010 NVIDIA Corporation <http://www.nvidia.com/object/wetadigital_avatar.html>

ORAD: Mastering VideoGraphics, 2010a, Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010, retirado da internet em 3 de Julho de 2010, <<http://www.orad.tv/>>

ORAD: Mastering VideoGraphics, 2007, retirado da internet em 16 de Novembro de 2007, <<http://www.orad.co.il/en/index.asp>>

Pharr, M & Green, S 2004, 'Ambient Occlusion' in GPU Gems, Chp.17, acedido em NVIDIA - developer zone, retirado da internet em 10 de Maio de 2010, <http://developer.nvidia.com/object/gpu_gems_home.html>

Photon Mapping, © 2010 WordIQ.com, retirada da internet em 25 de Junho de 2010, <http://www.wordiq.com/definition/Photon_mapping>

Policarpo, F & Oliveira, MM 2007, *Relaxed Cone Stepping for Relief Mapping in GPU Gems 3*, Chp.18, *NVIDIA developer zone*, retirado da internet em 2 de Maio de 2010, <http://http.developer.nvidia.com/GPUGems3/gpugems3_ch18.html>

Policarpo, F, Oliveira, MM & Comba, JLD 2005, *Real-Time Relief Mapping on Arbitrary Polygonal Surfaces*, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005, retirado da internet em 30 de Maio de 2010, <http://www.inf.ufrgs.br/~oliveira/pubs_files/Policarpo_Oliveira_Comba_RTRM_I3D_2005.pdf>

Porquet, D, Dischler, JM & Ghazanfarpour, D 2005, *Real time High quality View dependent texture mapping using per-pixel visibility*, University of Strasbourg & University of Limoges, Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia, acedido em CiteSeerX, retirado da internet em 5 de Maio de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.104.3046&rep=rep1&type=pdf>>

Premecz, M 2006, *Iterative parallax mapping with slope information*, In Central European Seminar on Computer Graphics, acedido em CiteSeerX, retirado da internet em 2 de Maio de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.147.819>>

Priscaro, M 2010, 'NVIDIA Quadro Digital Video Pipeline Drives Real-Time 3D Broadcast Production from Start to Finish', *NVIDIA*, retirado da internet em 4 de Julho de 2010, <http://www.nvidia.com/object/io_1270717448384.html>

Radiosity, © 2010 WordIQ.com, retirado da internet em 25 de Junho de 2010, <<http://www.wordiq.com/definition/Radiosity>>;

Raytracing, © 2010 WordIQ.com, retirada da internet em 25 de Junho de 2010, <<http://www.wordiq.com/definition/Raytracing>>

Reflection mapping, AbsoluteAstronomy.com © 2010, retirado da internet em 18 de Julho de 2010, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Reflection_mapping>

Reflection mapping, AbsoluteAstronomy.com © 2010, retirado da internet em 18 de Julho de 2010, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Reflection_mapping>

Rhoades, J, Turk, G, Bell, A, State, A, Neumann, U & Varshney, A 1992, *Real-time Procedural Textures*, University of north Carolina at Chapel Hill, Proceedings of the 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics, acessado em CiteSeerX, retirado da internet em 14 de Abril de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.158.2475>>

Rothaler, M 1996, *Virtual Studio Technology - an overview of the possible applications in television programme production*, European Broadcasting Union (EBU) Technical Review, retirado em 24 de Março de 2009, <http://www.ebu.ch/fr/technical/trev/trev_268-rothaler.pdf>

Ruivo, M 2006, *Repensar a Televisão: uma visão positiva sobre o papel da televisão como elo social, veículo de cultura e espaço de lazer*, Universidade da Beira Interior, Covilhã, retirado da internet em 14 de Janeiro de 2010, <http://www.labcom.ubi.pt/agoranet/04/ruivo-miguel-repensar-a-televisao.pdf>

Scanline Rendering, © 2010 WordIQ.com, retirada da internet em 25 de Junho de 2010, <http://www.wordiq.com/definition/Scanline_rendering>

Schamel, F 2006, *Modern computer and video games rendering techniques and how they can be used besides games in other fields of computer graphics such as cinematic rendering*, Eurographics 2006, Viena, retirado 16 de Novembro de 2009, <<http://www.cg.tuwien.ac.at/events/EG06/gmgfiles/schamel-talkeg2006.pdf>>

Sevo, DE 2005, *The Future of Computer Graphics 2000 and beyond*, retirado da internet em 13 de Janeiro de 2010, <http://www.danielsevo.com/hocg/hocg_2000.htm>

Shoaff, W 2000, *A Short History of Computer Graphics*, retirado da internet em 9 de Janeiro de 2010, <<http://cs.fit.edu/~wds/classes/graphics/History/history/history.html>>

Silveiro, P 2006, 'Estúdio de Cenografia Virtual na ESCS', *Politecnia*, Junho de 2006, pp.40-43, retirado da internet em 16 de Novembro de 2007, <www.ipl.pt/politecnia/n12/NovoInteressante.pdf>

Smits, B, Shirley, P & Stark, MM, 2000, *Direct Ray Tracing of Displacement Mapped Triangles*, University of Utah, retirado da internet em 5 de Maio de 2010, <<http://www.cs.utah.edu/~bes/papers/height/paper.pdf>>

Soatto, S, Doretto, G & Wu, YN, 2001, *Dynamic Textures*, Dept. of Comput. Sci., California Univ., Los Angeles, Eighth IEEE International Conference on Computer Vision 2001, Proceedings, pp.439 – 446, vol.2, acessado na ieeexplore, retirado da internet em 14 de Abril de 2010, <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?isNumber=20294&arNumber=937658&isnumber=20294&arnumber=937658>

Sodium vapor process, AbsoluteAstronomy.com © 2010, retirado da internet 30 de Novembro de 2009, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Sodium_vapor_process>

Spaulding, K 2009, *Brief History of Computers: A Look Back at Computing*, Versão 20. Knol., retirado da internet em 9 de Janeiro de 2010, <<http://knol.google.com/k/kevin-spaulding/brief-history-of-computers/3smazt4fj02nv/24>>

Sphere mapping, AbsoluteAstronomy.com © 2010, retirado da internet em 18 de Julho de 2010, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Sphere_mapping>

Sphere mapping, AbsoluteAstronomy.com © 2010, retirado da internet em 18 de Julho de 2010, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Sphere_mapping>

Spitzer, J, n.d., *Real-Time Procedural Effects*, Game developers Conference, retirada da internet em 29 de Maio de 2010, <<http://developer.nvidia.com/docs/IO/8343/RealTime-Procedural-Effects.pdf>>

Subdivisionmodeling.com: a sub-division modelers primer, n.d., retirada da internet em 4 de Setembro de 2010, <<http://www.subdivisionmodeling.com/page1.htm>>

Tatarchuk, N, 2006b, *Practical Parallax Occlusion Mapping for Highly Detailed Surface Rendering*, 3D Application Research Group - ATI Research, Game Developers Conference, 20-24 de Março de 2006, San Jose - California, Inc., retirado da internet em <http://developer.amd.com/gpu_assets/GDC06-Tatarchuk-Parallax_Occlusion_Mapping.pdf>

Tatarchuk, N, 2006c, *Dynamic Parallax Occlusion Mapping with approximate soft shadows*, Symposium on Interactive 3D Graphics and Games, 3D Application Research Group - ATI Research, Inc., © 2006 Association for Computing Machinery, Inc., retirado da internet em 5 de Junho de 2010, <http://developer.amd.com/media/gpu_assets/I3D2006-Tatarchuk-POM.pdf>

Thoma - dedicated to accuracy, n.d., 'Virtual Studio Technology', retirado da internet em 22 de Fevereiro de 2010, <<http://www.thoma.de/en/application/index.html>>

Ultimatte Corporation, © 2010 Ultimatte Corporation , retirado da internet em 27 de Março de 2010, <<http://www.ultimatte.com>>

Universidade do Minho, 2009, retirado da internet em 31 de Março de 2009, <http://www.uminho.pt/Default.aspx?tabid=8&pageid=652&lang=pt-PT>

Universidade Lusófona de Tecnologias e Humanidades, 2009, retirado da internet em 31 de Março de 2009, <<http://www.ulusofona.pt/>>

Urssi, NJ, 2006, *A Linguagem Cenográfica*, Dissertação de Mestrado, Escola de Comunicações e Artes da Universidade de S. Paulo, S.Paulo, retirado da internet em 18 de Novembro de 2007, <www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/C%EAnica/Pesquisa/a_linguagem_cenografica.pdf>

Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retirado da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>

VANTeC - Tecnologias de Informação | Sistemas de Informação, © 2010 | Todos os direitos reservados a VANTeC, S.A., retirado da internet em 28 de Agosto de 2010, <<http://www.vantec.pt/>>

VANTeC - Tecnologias de Informação | Sistemas de Informação, 2007b, 'RTP adjudica à VANTeC sistema topo de gama de 3D On-Air Graphics e Cenografia Virtual do prestigiado fabricante Israelita ORAD HI-TEC SYSTEMS - press release VANTeC', retirado da internet em 15 de Fevereiro de 2009, <http://www.vantec.pt/downloads/Orad_RTP_press.pdf>

VANTeC - Tecnologias de Informação | Sistemas de Informação, 2006a, 'Press Release - Projecto de Cenografia Virtual na SIC', retirado da internet em 15 de Fevereiro de 2009, <http://www.vantec.pt/downloads/SIC_Projecto_Cenografia_Virtual_Press_Release%20.pdf>

Vinten Radamec - Broadcast Robotics, © Vitec Group 2010, retirado da internet em 22 de Fevereiro de 2010, <<http://www.vintenradamec.com/>>

Vita, DF 2008, *Posibilidades artísticas de la imagen electrónica: el Chroma-key*, Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Valência, Valência, retirado da internet em 14 de Novembro de 2009, <<http://dspace.upv.es/xmlui/handle/10251/3343>>

Vizrt, n.d, retirado da internet em 5 de Julho de 2010, <<http://www.vizrt.com>>

VRayDisplacementMod, © 2001-2010 by Chaos Software Ltd., retirado da internet em 10 de Maio de 2010, <http://www.spot3d.com/vray/help/150SP1/tutorials_displacement.htm>

Wang, L, Wang, X, Tong, X, Lin, S, Hu, S, Guo, B & Shum, HY, 2003, *View-Dependent Displacement Mapping*, Microsoft Research Asia, Tsinghua University, © 2003 ACM, retirado da internet em 5 de Junho de 2010, <<http://research.microsoft.com/pubs/69023/vdm.pdf>>

Wang, X, Tong, X, Lin, S, Guo, SHB & Shum, HY, 2004, *Generalized Displacement Maps*, Tsinghua University, Microsoft Research Asia, retirado da internet em 5 de Junho de 2010, <http://cg.cs.tsinghua.edu.cn/papers/esr_wx.pdf>

Waters, Z, 2003, *Photon Mapping*, retirado da internet em 3 de Julho de 2010, <http://web.cs.wpi.edu/~emmanuel/courses/cs563/write_ups/zackw/photon_mapping/PhotonMapping.html>

Zagalo, NT 2007, *Convergência entre o cinema e a Realidade Virtual*, Tese de Doutorado, Universidade de Aveiro, Aveiro, retirado da internet em 23 de Março de 2009, <<http://biblioteca.sinbad.ua.pt/teses/2008001260>>

Z-buffer, © 2010 WordIQ.com, retirada da internet em 25 de Junho de 2010, <<http://www.wordiq.com/definition/Z-buffer>>

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - VÍDEOS

James Cameron Stereoscopic 3D camera, 25 de Março de 2009, visualizado na internet em 11 de Dezembro de 2009, <<http://vodpod.com/watch/1465496-james-cameron-stereoscopic-3d-camera>>

Avatar original HQ video Behind the Scenes {farooq}, 18 de Dezembro de 2009, visualizado na internet em 24 de Janeiro de 2010, <<http://www.youtube.com/watch?v=0ZaMSeqKY5A&feature=related>>.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA - IMPRESSA

Januário, PMG 1998, VRML: trabalho de síntese, provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, FAUTL da UTL, Lisboa

Barata, J & Santos, J 2010, *3ds Max - Curso Completo*, FCA - Editora de Informática - Autodesk Authorized Publisher, Lisboa

Luz, FC 2009, *Jogos de Computador e cinema: narrativas, avatares e efeitos*, Coleção Imagens, Sons, Máquinas e Pensamento, Edições Universitárias Lusófonas, Lisboa

Manzini, E 1993, *A matéria da invenção*, Coleção "Design, Tecnologia e Gestão", Ed. Centro Potuguês de Design, Lisboa

Polainas, AF 1998, *Cenografia e televisão em Portugal (1957-1992)*, Dissertação de Mestrado, Universidade Lusíada, Lisboa

BIBLIOGRAFIA – ELECTRÓNICA

300 - The complete experience, About the Movie > Production notes, © 2007 Warner Bros. Ent. retirado da internet 11 de Novembro de 2009, <<http://www.300ondvd.com/300.html>>

3dRender.com, Home > Glossary > Direct light/ Indirect light, © 2002 by Jeremy Birn, retirada da internet em 24 de Julho de 2010, <<http://www.3drender.com/glossary/index.htm>>

A Brief History of Computer Graphics, 2004, retirado da internet em 9 de Janeiro de 2010, <http://www.comphist.org/computing_history/new_page_6.htm>

A História da Televisão: da sua invenção ao início das transmissões a cores, © MAGIA Comunicações 1998 - 2010, retirado da internet em 14 de Janeiro de 2010, <<http://www.tudosobretv.com.br/historvtv/histormundi.htm>>

Albuquerque, ALPA 1999, *Cenários Virtuais com um estudo de Sincronismo de Câmara*, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, retirado da internet em 10 de Novembro de 2008, <www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Cinema%20V%EDdeo%20e%20TV/cenarios_virtuais/Cenarios%20Virtuais.pdf>

Allegorithmic, © 2003-2010 Allegorithmic, retirado da internet em 30 de Maio de 2010, <<http://www.allegorithmic.com/?PAGE=NEWS>>

Amado, AEP 2007, *Avaliação de Usabilidade de Ambientes de Realidade Virtual e Aumentada*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, retirado da internet em 23 de Março de 2009, <<http://biblioteca.sinbad.ua.pt/Teses/2008000403>>

Ana, L, n.d., *Virtus Realitatis: Ensaio sobre Realidade Virtual*, retirado da internet em 27 de Janeiro de 2009, <http://www.cultkitsch.org/tecno/realidade_virtual_files/realidade_virtual.htm>

Archivision - get real, get RPC, 'What is RPC?', retirado da internet em 21 de Outubro de 2010, <<http://www.archvision.com/WhatisRPC.cfm>>

Autodesk: Television, Home > Industries > Media & Entertainment, retirado da internet em 8 de Dezembro de 2008, <<http://usa.autodesk.com/industries/media-entertainment/television>>

Autodesk 3ds Max® 2011 Help, © 2000-2010 Autodesk, retirado da internet em 23 de Junho de 2010, <<http://docs.autodesk.com/3DSMAX/13/ENU/Autodesk%203ds%20Max%202011%20Help/index.html>>

Autodesk Maya Help 2011, © 2000-2010 Autodesk, retirado da internet em 23 de Junho de 2010, <<http://download.autodesk.com/us/maya/2011help/index.html>>

Autodesk, Home > Products, © 2010 Autodesk, Inc., retirado da internet em 19 de Fevereiro de 2010, <<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=14898170&siteID=123112>>

Baas, M 2005, 'Baking Texture Maps', *CGKit Tutorial*, retirado da internet em 6 de Julho de 2010, <<http://cgkit.sourceforge.net/tutorials/baking/baking.html>>

Barret, P 2004, *Tricky Business - LiveWire*, retirado da internet em 29 de Novembro de 2009, <<http://www.theage.com.au/articles/2004/06/23/1087845000403.html?from=storylhs>>

BBC Research - Production Magic, BBC © MMX <<http://www.bbc.co.uk/rd/projects/virtual/index.shtml>>

Birn, J 2000a, 'Render passes, Layers and 3D compositing' in Digital Lighting & Rendering, *3DRender.com*, © 2000-2006 by Jeremy Birn, retirado da internet em 30 de Abril de 2010 <<http://www.3drender.com/light/compositing/index.html>>

Birn, J 2000b, 'A look at Caustics' in Digital Lighting & Rendering, *3DRender.com*, © 2000-2006 by Jeremy Birn, retirado da internet em 30 de Abril de 2010 <<http://www.3drender.com/light/caustics.html>>

Bishop, G, McAlister, D & Oliveira, MM 2000, *Relief texture mapping*, University of North Carolina at Chapel Hill, Proceedings of SIGGRAPH 2000, © 2000 by ACM, acedido em *CiteSeerX*, retirado da internet em 27 de Abril de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.42.8685>>

Blender.org, n.d. a, 'Blender Documentation', retirado da internet em 17 de Abril de 2010, <<http://blender.active-domains.com/>>

Blender.org, n.d. b, 'Doc:br/manual/modeling/curves', 2010, retirado da internet em 17 de Abril de 2010, <<http://wiki.blender.org/index.php/Doc:BR/Manual/Modeling/Curves>>

Blender.org, n.d. c, 'Doc:Manual', retirado da internet em 30 de Abril de 2010, <<http://wiki.blender.org/index.php/Doc:Manual>>

Blender.org, n.d. d, 2010, 'Doc:Manual/Modeling/Meshes/Subdivision Surfaces', retirado da internet em 12 de Abril de 2010, <http://wiki.blender.org/index.php/Doc:Manual/Modeling/Meshes/Subdivision_Surfaces>

Blender.org, n.d. e, 'Render baking', retirado da internet em 6 de Julho de 2010, <<http://www.blender.org/development/release-logs/blender-246/render-baking/>>

Blender.org, n.d. f, 'Ambient Occlusion', retirado da internet em 25 de Junho de 2010, <<http://www.blender.org/development/release-logs/blender-233/ambient-occlusion/>>

Blender Tutor, 'Texturas Procedurais', cwahi.net, retirado da internet em 30 de Abril de 2010, <http://cwahi.net/texturas_procedurais.html>

bloomgraphics, Global Media & Technology Solutions, retirada da internet em 26 de Junho de 2010, <<http://bloomgraphics.tv/>>

Brainstorm, 2010a, 'Brainstorm announces support for NVIDIA digital videopipeline to help drive real-time 3D broadcast production', Home > news, retirado a 4 de Julho de 2010, <http://www.brainstorm.es/live/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=58&Itemid=145&limitstart=10>

Brainstorm, 2010b, 'Broadcast Real-Time 3D Graphics Solutions', © Copyright 2010, retirado da internet em 4 de Julho de 2010, <<http://www.brainstorm.es/live/>>

Brainstorm Multimedia, Home > Corporate > History, © 2007 Brainstorm Multimedia S.L., retirado da internet em 16 de Março de 2009, <http://www.brainstorm.es/newweb/history.php>

Brief Biography of Jaron Lanier, n.d., retirado da internet em 27 de Janeiro de 2009, <<http://www.jaronlanier.com/general.html>>

Brito, A 2009a, *How to use alpha maps to render trees in LuxRender and Blender 3D*, Blender 3D Architect, retiradas da internet em 15 de Setembro de 2010, <<http://www.blender3darchitect.com/2009/07/how-to-use-alpha-maps-to-render-trees-in-luxrender-and-blender-3d/>>

Brito, A 2009b, *Modelagem de personagens Low Poly no 3ds Max*, retirado da internet em 4 de Abril de 2010, <<http://www.allanbrito.com/2009/02/12/modelagem-de-personagens-low-poly-no-3ds-max/>>

Bump mapping, AbsoluteAstronomy.com © 2010, retirado da internet 27 de Abril de 2010, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Bump_mapping>

Bunnell, M 2005a, 'Adaptive Tessellation of Subdivision Surfaces with Displacement Mapping' in GPU Gems 2, Chp.7, *NVIDIA - developer zone*, retirado em 11 de Junho de 2010, <http://http.developer.nvidia.com/GPUGems2/gpugems2_chapter07.html>

Bunnell, M 2005b, 'Dynamic Ambient Occlusion and Indirect Lighting' in GPU Gems 2, chp.14, *NVIDIA developer zone*, retirado da internet em 18 de Maio de 2010, <http://http.developer.nvidia.com/GPUGems2/gpugems2_chapter14.html>

Burke, B, n.d., 'Organic modeling with spline cage in Maya', *varioussends.com*, retirado da internet em 16 de Abril de 2010, <http://www.digm.drexel.edu/collective/wp-content/uploads/2009/03/branface_splinecage.pdf>

Campbell, A, n.d., 'High definition gaming', *Driver Heaven: Hardware Reviews*, © 2010 Heaven Media Ltd, retirado da internet em 24 de Maio de 2010, <<http://www.hardwareheaven.com/reviews/X800XTdhrefview/highdefinationgaming.htm>>

Cardoso, JBF 2009, 'Cenografia Virtual: o cenário atual e o cenário possível' in Santos; Vargas; Cardoso 2009, *Mutações da Cultura Midiática*, Ed.Paulinas, S.Paulo, Chp. 2, pp. 43-60, material disponibilizado digitalmente pelo autor

Cardoso, JBF 2003, *A cenografia virtual na televisão brasileira*, Centro de Investigações em Mídias Digitais – CIMID, PUC-SP, São Paulo, retirado da internet em 9 de Dezembro de 2007, <<http://www.puscp.br/-cimid/2com/cardoso/cap1.htm>>

Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation*, The Ohio State University, retirado da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>

Centre for Research in Applied Communication, Culture and New Technologies (CICANT), n.d., retirado da internet em 2 de Novembro de 2009, <<http://cicant.ulusofona.pt/>>

CG4TV.com, 'Royalty Free Virtual Set Library', © 2010 CG4TV, retirado da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://www.cg4tv.com/virtual-set>>

CGW.com, 2010, 'Allegorithmic unveils Substance Redux automatic texture compression tool', © 2009 Computer Graphics World, retirado da internet em 30 de Maio de 2010, <<http://www.cgw.com/Press-Center/News/2010/Allegorithmic-Unveils-Substance-Redux-Automatic.aspx>>

Chandaria, J, Thomas, G, Bartczak, B, Koeser, K, R. Koch, R, Becker, M, Bleser, G, Stricker, D, Wohlleber, C, Felsberg, M, Gustafsson, F, Hol, J, Schön, B, Skoglund, J, Slycke, PJ & Smeitz, S, Fevereiro de 2007, *Real-Time Camera Tracking in the MATRIS project*, White Paper 147, BBC Research & Development., retirado da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://www.bbc.co.uk/rd/projects/virtual/publications.shtml>>

Chang,MT 2009, *A Brief History of Computer Graphics*, retirado da internet em 9 de Janeiro de 2010, <<http://www.articlesbase.com/computers-articles/a-brief-history-of-computer-graphics-741121.html>>

Chittim, J 2008, *Radiosity and raytracing*, retirado da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://jonathonchittim.wordpress.com/>>

Chroma-key, AbsoluteAstronomy.com © 2010, retirado da internet 30 de Novembro de 2009, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Chroma_key>

Computer Rendering, © 2010 WordIQ.com, retirada da internet em 25 de Junho de 2010, <http://www.wordiq.com/definition/Computer_rendering>

Coombe, G, Frahm, JM & Lastre, A 2008, *Capturing a Surface Light Field under Virtual Illumination*, University of North Carolina at Chapel Hill, Proceedings of 3DPVT'08 - the Fourth International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, Georgia Institute of Technology, Atlanta, EUA, retirado da internet em 23 de Março de 2010, <http://www.cs.unc.edu/~jmf/publications/3DPVT08_Coombe_et_al.pdf>

Cubillo, E 2008, *Escenografía virtual en TV. Análisis del uso de escenografía virtual en la realización de un programa de televisión*, Revista Latina de Comunicación Social, 63, p. 31-42, Universidad de La Laguna, Laguna, retirado da internet em 9 de Novembro de 2008, <http://www.ull.es/publicaciones/latina/_2008/04/Galan_Cubillo.html>

Cummins, 2007, *Smoke, Fire and Water*, retirado da internet em 29 de Maio de 2010, <http://www.lfpug.com/presentations/2007_02_22_cummins/2007_02_22_cummins.pdf>

Darim Broadcasting, 'Virtual Production Studio', © Copyright 2010 Darim International Corp., retirada da internet em 4 de Julho de 2010, <http://www.darim.tv/products/virtual_studio/vs_con_diag>

Debevec, E , Yu , Y & Borshukov, G 1998, *Efficient View-Dependent Image-Based Rendering with Projective Texture-Mapping*, acedido em CiteSeerX, retirado da internet em 5 de Julho de 2010 <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.2.3646>>

Dias, J 2007a, *Arquitectura do Improviso: Cenografia*, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, retirado da internet em 30 de Dezembro de 2008, <http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5661/trabalhos_2007-1/improviso/cenografia.html>

Dias, J 2007b, *Arquitectura do Improviso: Cenografia Virtual no Brasil*, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, retirado da internet em 30 de Dezembro de 2008, <http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5661/trabalhos_2007-1/improviso/cenografiabrasil.html#menu>

digitalacting.com, 2010, 'James Cameron Performance Capture re-invented AVATAR – Interview', © Digital Acting, retirada da internet em 7 de Março de 2010, <<http://www.digitalacting.com/2010/02/08/james-cameron-performance-capture-re-invented-avatar/>>

Dogget, M, Ehlert, A, Guthe, S & Hirche, J 2004, *Hardware Accelerated per-pixel displacement mapping*, acedido em CiteSeerX, retirado da internet em 29 de Abril de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.5.6095>>

Donnelly, W 2005, *Per-Pixel Displacement Mapping with Distance Functions*, in GPU Gems 2, Chp. 8, University of Waterloo, Nvidia developer zone, retirado da internet em 3 de maio de 2010, <http://http.developer.nvidia.com/GPUGems2/gpugems2_chapter08.html>

Doyle, A 1999, 'Virtual Sets: Designing for Broadcast', *Digitalcontentproducer.com: Millimeter*, © 2010 Penton Media, Inc., retirado da internet em 23 de Janeiro de 2010, <http://digitalcontentproducer.com/mag/video_virtual_sets_designing/>

Erland, J 1982, *Reverse or Negative Bluescreen Travelling Matte Process*, © 1983 by the Society of Motion Picture and Television Engineers, retirado da internet 30 de Novembro de 2009, <<http://www.digitalgreenscreen.com/smptersb.html>>

Escola Superior da Comunicação da Social - Instituto Politécnico de Lisboa, retirado da internet em 31 de Março de 2009, <<http://www.escs.ipl.pt/>>

Escola Superior de Teatro e Cinema, Licenciatura em Teatro - Ramo Design de Cena, retirado da internet em 3 de Fevereiro de 2009, <http://www.estc.ipl.pt/teatro/documentos/licenciatura/programas/design_cena/2_ano_2_semestre/tecnologia_iv.pdf>

Espada, J & Polainas, A 2008, Programa da Unidade Curricular Tecnologia IV - Cenografia Virtual, Licenciatura em Teatro, Escola Superior de Teatro e Cinema, Lisboa, retirado da internet em 3 de Fevereiro de 2009, <http://www.estc.ipl.pt/teatro/documentos/licenciatura/programas/design_cena/2_ano_2_semestre/tecnologia_iv.pdf>

eStudio v.11 - Brainstorm 10th users Meeting, 2007, Training doc 2007.pdf, documento disponibilizado por Miguel Baptista da ESCS.

eStudio V.12, Brainstorm Broadcast real time 3D graphics solutions, retirado em 4 de Julho de 2010, <http://www.brainstorm.es/live/images/stories/brainstorm/downloads/estudio/eStudio_V12.pdf>

EUVE - European Virtual Engineering Technological Center - Television, retirado da internet em 8 de Fevereiro de 2009, <http://w3.euve.org:81/en/sets_virtuales.asp>

Evans, C 2003, *Adding detail to subdivision surface models*, © 2003 All artworks Christopher Evans, retirado da internet em 12 de Abril de 2010, <http://chrisevans3d.com/tutorials/adv_subd.htm>

Evers-Senne, JF, Grau, O, Koch, R, Lavagetto, F, Milne, M, Price, M, Razzoli, O, Sarti, A & Tubaro, S, 2004, *The ORIGAMI project: advanced tools for creating and mixing real and virtual content in film and tv production*, Politecnico di Milano, 1st European Conference on Visual Media Production (CVMP 2004), retirado da internet em 20 de Março de 2009, <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1374689>

The execution of Mary Stuart, n.d., retirado da internet em 13 Janeiro de 2010, <http://www.cinemedioevo.net/Film/cine_stuart_varii.htm>

Fernando, R & Kilgard, MJ, 2003, 'Environment Mapping Techniques' in *The CG Tutorial: the Definite Guide to programmable Real-Time Graphics*, Ed. Addison Wesley Professional, Chp.17, acedido em *developer.com*, © 2010 QuinStreet Inc., retirado da internet em 8 de Maio de 2010, <<http://www.developer.com/lang/other/article.php/2169281>>

Fox, D, 'Virtual Sets Get Ready For Takeoff', *urbanfox.tv*, © 2000-2003 urbanfox.tv, retirado da internet em 23 de Janeiro de 2009, <<http://www.urbanfox.tv/production/p9virtualsets.htm>>

Furio - Fx-motion.com, n.d., Applications > Virtual Studio, retirado da internet em 22 de Fevereiro de 2010, <<http://www.fx-motion.com/>>

Garside, R 2006, 'Procedural textures: Gaming's Future', *bit.tech.net*, retirado da internet em 30 de Maio de 2010, <http://www.bit-tech.net/gaming/2006/11/09/Procedural_Textures_Future_Gam/1>

George, DDM 1991, *The Special Effects of "2001: A Space Odyssey"*, retirado da internet em 1 de Dezembro de 2009, <<http://www.palantir.net/2001/meanings/dfx.html>>

Giles, M 2008, *CUDA Programming on NVIDIA GPUs - Lecture 1: CPUs and GPUs*, Oxford-Man Institute of Quantitative Finance Oxford e-Research Centre, retirado da internet em 25 de outubro de 2010, <<http://people.maths.ox.ac.uk/gilesm/cuda/lecture1.pdf>>

GPGPU General Purpose Computation on Graphics Hardware, n.d., retirado da internet em 11 de Junho de 2010, <<http://www.gpgpu.org>>

Graphics Processing Unit, © 2010 WordIQ.com, retirada da internet em 25 de Junho de 2010, <http://www.wordiq.com/definition/Graphics_processing_unit>

Grau, O 2007, *Multi-camera radiometric surface modeling for image-based re-lighting*, White Paper 143, BBC Research & Development, retirado da internet em 9 de Novembro de 2008. <<http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp143.shtml>>

Grau, O 2005, *A 3D production pipeline for special effects in TV and film*, White Paper 108, BBC Research & Development, retirado da internet em 12 de Janeiro de 2009, <<http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp-pdf-files/WHP108.pdf>>

Grau, O 2004, *3D sequence generation from multiple cameras*, White Paper 102, BBC Research & Development, retirado da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp102.shtml>>

Grau, O 2002, *A studio production system to ynamic 3D content*, White Paper 077, BBC Research & Development, retirado da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp077.shtml>>

Grau, O, Koch, R, Lavagetto, F, Milne, M, Murphy, E, Price, M, Razzoli, O, Sarti, A, Spallarossa, L, Tubaro, S & Woetzel, J 2003, *New production tools for the planning and the on-set visualisation of virtual and real scenes*, White Paper 073, BBC Research & Development, retirado da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp-pdf-files/WHP073.pdf>>

Grau, O, Price, M, Thomas, G 2002, *Use of 3-D Techniques for Virtual Production*, White Paper 033, BBC Research & Development, retirado da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp033.shtml>>

Grau, O, Pullent, T, Thomas, G 2004, *A combined studio production system for 3D capturing of live action and immersive actor feedback*, White Paper 086, BBC Research & Development, retirado da internet em 12 de Janeiro de 2009, <<http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp086.shtml>>

Grau, O, Hilton, A, Kilner, J, Miller, G, Sargeant, T & Starck, J 2006, *A free-viewpoint video system for visualisation of sport scenes*, White Paper 142, BBC Research & Development, retirado da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp-pdf-files/WHP142.pdf>>

Guidazzoli, A, Liguori, M, Mauri, M, Perani, R & Salvi, R 2003, *Virtual scenographies for educational purposes*, Cineca - Visual Information Technology Lab, retirado da internet em 9 de Novembro de 2008, <www.cineca.it/pubblicazioni/scienza_scalc/ssc2003/cul03.pdf>

Hachisuka, T 2005, 'High-Quality Global Illumination Rendering using Rasterization' in GPU Gems 2, Chp. 38, acedido em NVIDIA - developer zone, retirado da internet em 11 de Junho de 2010, <http://http.developer.nvidia.com/GPUGems2/gpugems2_chapter38.html>

Halfhill, TR, 'Parallel Processing with CUDA', *Microprocessor Report*, 28 de Janeiro de 2008, retirado da internet em 5 de Julho de 2010, <http://www.nvidia.com/docs/IO/47906/220401_Reprint.pdf>

The HDRI Handbook, 'Lighting a 3d scene with panoramic HDR imagery has revolutionized computer graphics', HDR Labs > Smart IBL > Overview, ©2007-2010 Christian Bloch, retirada da internet em 22 de Setembro de 2010, <<http://www.hdrlabs.com/tutorials/index.html>>

Hornby, T 2007, *The Pixar Story: Dick Shoup, Alex Schure, George Lucas, Steve Jobs, and Disney*, retirado da internet em 3 de Dezembro de 2009, <<http://lowendmac.com/orchard/06/pixar-story-lucas-disney.html>>

'How Digital Matte Painters Work: Film Matte Painting', in Fielding, R 1985 *Work the technique of special effects cinematography*, acedido em howstuffworks.com, ©1998-2010 HowStuffWorks, Inc., retirado da internet em 28 de Novembro de 2009, <<http://entertainment.howstuffworks.com/digital-matte-painter1.htm>>

Hrbek, S [sic] n.d., *Real time Global Illumination Demos*, retirado da internet em 29 de Abril de 2010, <<http://realtimeradiosity.com/demos/>>

Hummelstrand, J 2006, *General Specialist - Greenscreen and Bluescreen checklist*, retirado da internet em 25 de Fevereiro de 2010, <<http://generalspecialist.com/2006/10/greenscreen-and-bluescreen-checklist.asp>>

Hybrid: production without limits, © 1987 - 2010 Hybrid, retirado da internet em 4 de Julho de 2010, <<http://www.hybridtv.tv/>>

IFW2 Textures For Lightwave, n.d., 'IFW2 Texture Procedurals', retirado da internet em 30 de Maio de 2010, <http://www.shaders.org/ifw2_textures/procedurals.htm>

IMDb: Internet Movie Data base, 'Biography for Georges Méliès', © 1990-2010 IMDb.com, Inc. , retirado da internet em 15 de Janeiro de 2010, <<http://www.imdb.com/name/nm0617588/bio>>

Instituto Superior Miguel Torga, 2009, retirado da internet em 31 de Março de 2009, <<http://www.ismt.pt/>>

Ivan, M, 2010, *5 Things you need to know about raytracing*, retirada da internet em 14 de Março de 2010, <<http://www.pxleyes.com/blog/2010/03/5-things-you-need-to-know-about-raytracing/>>

Januario, S 2010, *NVIDIA Quadro Digital Video Pipeline proporciona produção televisiva 3D completa em tempo real*, © 2010 NVIDIA Corporation, retirado da internet em 4 de Julho de 2010, <<http://es.nvidia.com/object/quadro-digital-video-pipeline-press-release-20100412-pt.html>>

Kaneko, T, Takahei, T, Inami, M, Kawakami, N, Yanagida, Y, Maeda, T & Tachi, S, 2001, *Detailed Shape Representation with Parallax Mapping*, School of Information Science and Technology, The University of Tokyo, In Proceedings of the ICAT 2001, acedido em CiteSeerX, retirado da internet em 27 de Abril de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.115.1050>>

Kautz, J & Seidel, HP 2001, *Hardware accelerated displacement mapping for image based rendering*, Max-Planck-Institut für Informatik, Saarbrücken, Germany, acedido em CiteSeerX, retirado da internet em 29 de Abril de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.3.9541>>

Kawakita, M, Iizuka, K, Nakamura, H, Mizuno, I, Kurita, T, Aida, T, Yamanouchi, Y, Mitsumine, H, Fukaya, T, Kikuchi, H & Sato, F 2004, *High-definition real-time depth-mapping TV camera: HDTV Axis-Vision Camera*, acedido na Optics Info Base, retirado da internet em 13 de março de 2009, <<http://www.opticsinfobase.org/oe/abstract.cfm?id=80253>>

Kempton, M, 2010, *An incomplete history of London's television studios*, retirado da internet em 18 de Janeiro de 2010, <<http://www.tvstudiohistory.co.uk/index.htm>>

Lacombe, P 1998, 'Accom ELSET Virtual Set: POP Tackles Weekly Program of Real-Time Animation with Virtual Set Technology', *Digitalcontentproducer.com: Millimeter*, © 2010 Penton Media, Inc., retirado da internet em 14 de Março de 2010, <http://digitalcontentproducer.com/mag/video_accom_elsset_virtual/>

Lightwave Plugins for normal maps, 2003, 'Normal maps', retirado da internet em 6 de Maio de 2010, <<http://amber.rc.arizona.edu/lw/normalmaps.html>>

Lehtinen, A 2009, *3D Graphics*, retirado da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://knol.google.com/k/3d-graphics#>>

Litesets.net: Virtualsets, only lighter, n.d., retirado da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://www.litesets.net/index.htm>>

LUSA, 'RTP inaugurou hoje estúdio virtual', © 2010 LUSA - Agência de Notícias de Portugal, S.A., retirado da internet em 17 de Julho de 2010, <<http://www.rtp.pt/noticias/?t=RTPN-inaugurou-hoje-estudio-virtual.rtp&article=350982&visual=3&layout=10&tm=5>>

- Luz, FC 2008, *3dsmax para Virtools - exportação de conteúdos, objectos, characters e animações*, ULHT, Lisboa, Movlab > Tutorials, <http://movlab.ulusofona.pt/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=132&Itemid=143&lang=pt>
- Luz, FC 2007, *Documento de apoio ao Atelier de Artes Interactivas I - Video Digital*, Mestrado em produção e criação em Artes, ULHT, Lisboa, retirado da internet em 17 de Março de 2009, <<http://paginas.ulusofona.pt/p2052/aulas/mestrado/avd.pdf>>
- Luz, FC 2006d, *2º Workshop de Cenografia Virtual*, ULHT, Lisboa, retirado da internet em 16 de Novembro de 2007, <<http://paginas.ulusofona.pt/p2052/experiencias/cvvirtual.pdf>>
- Luz, FC 2006c, *Tutorial modelação e optimização de polígonos*, ULHT, Lisboa, Movlab > Tutorials, retirado da internet em 4 de Outubro de 2009, <http://movlab.ulusofona.pt/cms/templates/movlab/files/virttools/28tut_vir_modelacao.pdf>
- Luz, FC 2006b, *Texturização de objectos por Unwrap*, ULHT, Lisboa, Movlab > Tutorials, retirado da internet em 9 de Julho de 2010, <http://movlab.ulusofona.pt/cms/templates/movlab/files/virttools/29tut_vir_unwrap.pdf>
- Luz, FC 2006a, *Tutorial de iluminação (Hollywood Set e Global Illumination)*, ULHT, Lisboa, Movlab > Tutorials, retirado da internet em 9 de Julho de 2010, <http://movlab.ulusofona.pt/cms/templates/movlab/files/3d/4_tut_ilumin.pdf>
- Luz, FC 2005b, *Realidades Mistas: Interfaces para corpos biotecnológicos*, ULHT, Lisboa, retirado da internet em 27 de Janeiro de 2009, <<http://paginas.ulusofona.pt/p2052/experiencias/rm.html>>
- Luz, FC 2005a, *Cenografia Virtual – Construir ambientes digitais*, ULHT, Lisboa, retirado da internet em 26 de Janeiro de 2009, <http://paginas.ulusofona.pt/p2052/experiencias/filipeluz_cenografiavirtual.html>
- Luz, FC 2002, *Manual de apoio Softimage XSI 2.0, Licenciatura em Cinema, Vídeo e Comunicação Multimédia*, ULHT, Lisboa, retirado da internet em 16 de Dezembro de 2008, <<http://paginas.ulusofona.pt/p2052/sebksi/index.html>>
- Luz, FC, Bila, V & Dinis JM 2008, *Realidade Aumentada para Espaços Interactivos*, Movlab, ULHT, Lisboa, retirado da internet em 17 de Março de 2009, <<http://movlab.ulusofona.pt/infomedia/papers/paperCaleidoscopioInformatica.pdf>>
- Luz, FC & Cascais, P 2006, *Programa da Disciplina Ambientes virtuais e Interactividade*, Licenciatura de Cinema, Vídeo e Comunicação Multimédia, retirado da internet em 4 de Janeiro de 2009, <http://paginas.ulusofona.pt/p2052/blogs_prog/cvcm_avi.pdf>
- McGregor, N 2009a, 'What is spline modeling and patch modeling? The benefits of spline 3d meshes in organic human character modeling', *suite 101®.com*, retirado da internet em 12 de Abril 2010, <<http://www.suite101.com/content/what-is-3d-spline-modeling-and-patch-modeling-a108228>>
- McGregor, N 2009b, 'What is 3D polygon modeling? Overview of how to model in 3D modeling software applications', *suite 101®.com*, retirado da internet em 14 de Abril 2010, <<http://www.suite101.com/content/what-is-3d-polygon-modeling-a73217>>
- McGuire, M & McGuire, M 2005, *Steep Parallax Mapping*, Iron Lore Entertainment, I3D 2005 Poster, Brown Technical Report, retirado da internet em 27 de Abril de 2010, <<http://graphics.cs.brown.edu/games/SteepParallax/index.html>>

Mental Ray Manual, n.d. a, © 1986-2008 by mental images GmbH, retirado da internet em 13 de Julho de 2010, <<http://download.autodesk.com/us/maya/2009help/mr/manual/index.html>>

Mental Ray Manual, n.d. b, 'Area light sources', ©1986-2008 by mental images GmbH, retirado da internet em 17 de Julho de 2010, <<http://download.autodesk.com/us/maya/2009help/mr/manual/node16.html>>

Mental ray Manual, n.d. c, 'Hardware vs. Software Rendering', © 1986-2008 by mental images GmbH, retirado da internet em 13 de Julho de 2010, <<http://download.autodesk.com/us/maya/2009help/mr/manual/node57.html>>

Mental ray Manual, n.d. d, 'Multipass Rendering', © 1986-2009 by mental images GmbH, retirado da internet em 17 de Julho de 2010, <<http://download.autodesk.com/us/maya/2010help/mr/manual/node97.html>>

Milestones in Film History: Greatest Visual and Special Effects and Computer-Generated Imagery (CGI), © 2010 American Movie Classics Company LLC., retirado da internet 30 de Novembro de 2009, <<http://www.filmsite.org/visualeffects.html>>

Miller, K 1999, 'Flipcode Articles: Daily Game Development News & Resources', 1999-2008 © *Flipcode.com*, retirado da internet em 7 de Julho de 2010, <<http://www.flipcode.com/archives/articles.shtml>>

MovLab -Laboratório de Tecnologias de Interação e Interfaces, © 2010 Movlab - Laboratório de Tecnologias de Interação e Interfaces, retirado da internet em 17 de Março de 2009, <<http://movlab.ulusofona.pt/cms/>>

MSDN Library, 'developers code with microsoft', © 2010 Microsoft Corporation, retirado da internet em 10 de Maio de 2010, <<http://msdn.microsoft.com/en-us/library>>

Navone, V, n.d., *The making of "Alien Song"*, retirado da internet em 14 de Abril de 2010, <<http://www.navone.org/HTML/MakingAlienSong.htm>>

NHK Science & Technologie Research Laboratories, Research Areas, retirado da internet em 25 de Janeiro de 2010, <<http://www.nhk.or.jp/str/english/index.html>>

Normal mapping, *AbsoluteAstronomy.com* © 2010, retirado da internet 29 de Abril de 2009, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Chroma_key>

NVIDIA, n.d., 'NVIDIA Collaborates With Weta to Accelerate Visual Effects for Avatar', © 2010 NVIDIA Corporation <http://www.nvidia.com/object/wetadigital_avatar.html>

NVIDIA: DirectCompute, *NVIDIA Home* > Technologies > CUDA zone, © 2010 NVIDIA Corporation, retirado da internet em 10 de Junho de 2010, <http://www.nvidia.com/object/cuda_directcompute.html>

NVIDIA: DirectX 11 Tessellation, *NVIDIA Home* > Produtos > GeForce > GTX 400 Arquitetura > GTX 400, © 2010 NVIDIA Corporation, retirado da internet em 27 de Setembro de 2010, <http://www.nvidia.com.br/object/tessellation_br.html>

NVIDIA: GPU Computing, *NVIDIA Home* > Products > High Performance, © 2010 NVIDIA Corporation, retirado da internet em 5 de Julho de 2010, <http://www.nvidia.co.uk/page/gpu_computing.html>

NVIDIA: Open CL, NVIDIA home > technologies > CUDA zone, © 2010 NVIDIA Corporation, retirado da internet em 10 de Junho de 2010, <http://www.nvidia.com/object/cuda_opengl_new.html>

NVIDIA Quadro Digital Video Pipeline, NVIDIA Home > Products > Workstation > Quadro FX > NVIDIA Quadro Digital Video Pipeline, © 2010 NVIDIA Corporation, retirado da internet em 4 de Julho de 2010, <http://www.nvidia.com/object/quadro_dvp.html>

NVIDIA: Volume Light, 2008, WP-03017-001_v01, © 2010 NVIDIA Corporation, retirado da internet em 20 de Maio de 2010, <<http://developer.download.nvidia.com/SDK/10.5/direct3d/Source/VolumeLight/doc/VolumeLight.pdf>>

NVIDIA: What is CUDA?, NVIDIA Home > Technologies > CUDA zone, © 2010 NVIDIA Corporation, retirado da internet em 10 de Junho de 2010, <http://www.nvidia.com/object/what_is_cuda_new.html>

Octane Render, home > features © Refractive Software Ltd., retirado da internet em 16 de Julho de 2010, <<http://www.refractivsoftware.com/features.html>>

ORAD: Mastering VideoGraphics, 2010a, Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010, retirado da internet em 3 de Julho de 2010, <<http://www.orad.tv/>>

ORAD: Mastering VideoGraphics, 2010b, 'Camera Tracking Solutions', Home > Products > Studio, Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010, retirado da internet em 3 de Julho de 2010, <http://www.orad.tv/Data/Uploads/Tracking_1.pdf>

ORAD: Mastering VideoGraphics, 2010c, 'Proset', Home > Products > Studio, Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010, retirado da internet em 3 de Julho de 2010, <http://www.orad.tv/Data/Uploads/ProSet_1.pdf>

ORAD: Mastering VideoGraphics, 2010d, 'RealSet', Home > Products > Studio, Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010, retirado da internet em 3 de Julho de 2010, <http://www.orad.tv/Data/Uploads/RealSet_1.pdf>

ORAD: Mastering VideoGraphics, 2007, retirado da internet em 16 de Novembro de 2007, <<http://www.orad.co.il/en/index.asp>>

Panterr, M 2007, 'Design: Making material space on TV', *Kontrast*, retirado da internet em 2 de Dezembro de 2008, <<http://www.kontrastblog.com/2007/07/20/making-material-space-%E2%80%93-on-tv/>>

Perez, D 2009, 'NVIDIA unveils industry's first integrated GPU platform for broadcasting production', *NVIDIA*, retirado da internet em 4 de Julho de 2010, <http://www.nvidia.com/object/io_1240222321619.html>

Pharr, M & Green, S 2004, 'Ambient Occlusion' in GPU Gems, Chp.17, acedido em *NVIDIA - developer zone*, retirado da internet em 10 de Maio de 2010, <http://developer.nvidia.com/object/gpu_gems_home.html>

Photon Mapping, © 2010 WordIQ.com, retirada da internet em 25 de Junho de 2010, <http://www.wordiq.com/definition/Photon_mapping>

- Pires, S 2010, 'RTP inaugurou estúdio virtual no Porto', *Diário de Notícias - TV & Media*, retirado da internet em 1 de Setembro de 2010, <http://dn.sapo.pt/inicio/tv/interior.aspx?content_id=1588722&seccao=Televis%E3o>
- Policarpo, F & Oliveira, MM 2007, *Relaxed Cone Stepping for Relief Mapping* in GPU Gems 3, Chp.18, NVIDIA developer zone, retirado da internet em 2 de Maio de 2010, <http://http.developer.nvidia.com/GPUGems3/gpugems3_ch18.html>
- Policarpo, F, Oliveira, MM & Comba, JLD 2005, *Real-Time Relief Mapping on Arbitrary Polygonal Surfaces*, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005, retirado da internet em 30 de Maio de 2010, <http://www.inf.ufgrs.br/~oliveira/pubs_files/Policarpo_Oliveira_Comba_RTRM_I3D_2005.pdf>
- Pomi, A & Slusallek, P 2005, 'Interactive ray tracing for Virtual TV Studio Applications', *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, Vol.2, nº1, Saarland University, Alemanha, retirado da internet em 6 de Dezembro de 2008, <<http://www.jvr.org/2.2005/>>
- Porquet, D, Dischler, JM & Ghazanfarpour, D 2005, *Real time High quality View dependent texture mapping using per-pixel visibility*, University of Strasbourg & University of Limoges, Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia, acedido em CiteSeerX, retirado da internet em 5 de Maio de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.104.3046&rep=rep1&type=pdf>>
- Priscaro, M 2010, 'NVIDIA Quadro Digital Video Pipeline Drives Real-Time 3D Broadcast Production from Start to Finish', *NVIDIA*, retirado da internet em 4 de Julho de 2010, <http://www.nvidia.com/object/io_1270717448384.html>
- Premecz, M 2006, *Iterative parallax mapping with slope information*, In Central European Seminar on Computer Graphics, acedido em CiteSeerX, retirado da internet em 2 de Maio de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.147.819>>
- Quest 3D* ® *Visual 3D development Software*, home > showcase, © 2010 Act-3D,B.V., retirado da internet em 8 de Janeiro de 2010, <<http://quest3d.com/>>
- Radiosity*, © 2010 WordIQ.com, retirado da internet em 25 de Junho de 2010, <<http://www.wordiq.com/definition/Radiosity>>;
- Raytracing*, © 2010 WordIQ.com, retirada da internet em 25 de Junho de 2010, <<http://www.wordiq.com/definition/Raytracing>>
- Reflection mapping*, AbsoluteAstronomy.com © 2010, retirado da internet em 18 de Julho de 2010, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Reflection_mapping>
- Remaeh, JE 2009, *A utilização de um ambiente virtual como ferramenta facilitadora do aprendizado (II)*, Engenharia e Sistemas de Gestão, Universidade Autônoma de Assunção, Paraguai, acedido em investigalog, retirado da internet em 13 de Janeiro de 2010, <<http://www.investigalog.com/informatica/admin/a-utilizacao-de-um-ambiente-virtual-como-ferramenta-facilitadora-do-aprendizado-ii/>>
- Rhoades, J, Turk, G, Bell, A, State, A, Neumann, U & Varshney, A 1992, *Real-time Procedural Textures*, University of north Carolina at Chapel Hill, Proceedings of the 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics, acedido em CiteSeerX, retirado da internet em 14 de Abril de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.158.2475>>

Rotthaler, M 1996, *Virtual Studio Technology - an overview of the possible applications in television programme production*, European Broadcasting Union (EBU) Technical Review, retirado em 24 de Março de 2009, <http://www.ebu.ch/fr/technical/trev/trev_268-rotthaler.pdf>

Ruivo, M 2006, *Repensar a Televisão: uma visão positiva sobre o papel da televisão como elo social, veículo de cultura e espaço de lazer*, Universidade da Beira Interior, Covilhã, retirado da internet em 14 de Janeiro de 2010, <http://www.labcom.ubi.pt/agoranet/04/ruivo-miguel-repensar-a-televisao.pdf>

Scanline Rendering, © 2010 WordIQ.com, retirada da internet em 25 de Junho de 2010, <http://www.wordiq.com/definition/Scanline_rendering>

Schamel, F 2006, *Modern computer and video games rendering techniques and how they can be used besides games in other fields of computer graphics such as cinematic rendering*, Eurographics 2006, Viena, retirado 16 de Novembro de 2009, <<http://www.cg.tuwien.ac.at/events/EG06/gmgfiles/schamel-talkeg2006.pdf>>

Sevo, DE 2005, *The Future of Computer Graphics 2000 and beyond*, retirado da internet em 13 de Janeiro de 2010, <http://www.danielsevo.com/hocg/hocg_2000.htm>

Shoaff, W 2000, *A Short History of Computer Graphics*, retirado da internet em 9 de Janeiro de 2010, <<http://cs.fit.edu/~wds/classes/graphics/History/history/history.html>>

Shum, HY & Kang, SB 2000, *A Review of Image based rendering techniques*, Microsoft Research, retirado da internet em 29 de Março de 2009, <http://research.microsoft.com/pubs/68826/review_image_rendering.pdf>

Silveiro, P 2006, 'Estúdio de Cenografia Virtual na ESCS', *Politecnia*, Junho de 2006, pp.40-43, retirado da internet em 16 de Novembro de 2007, <www.ipl.pt/politecnia/n12/NovoelInteressante.pdf>

Sitnik, R, Pasko, S, Karaszewski, M, Sidor, J, Witkowski, M, Zaluski, W & Filipczak, A 2006, *Virtual Studio: creation of 3D interactive content for educational and training purposes*, Proceedings of the Symposium on Photonics Technologies for 7th Framework Program, 12- 14 October 2006, Wroclaw, retirado da internet em 9 de Novembro de 2008, <www.opera2015.org/deliverables/D_4_3_CD-ROM_Wroclaw_Nieuw/6_Proceedings/37_RobertSitnik_VS.pdf>

Smits, B, Shirley, P & Stark, MM, 2000, *Direct Ray Tracing of Displacement Mapped Triangles*, University of Utah, retirado da internet em 5 de Maio de 2010, <<http://www.cs.utah.edu/~bes/papers/height/paper.pdf>>

Sodium vapor process, AbsoluteAstronomy.com © 2010, retirado da internet 30 de Novembro de 2009, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Sodium_vapor_process>

Soatto, S, Doretto, G & Wu, YN, 2001, *Dynamic Textures*, Dept. of Comput. Sci., California Univ., Los Angeles, Eighth IEEE International Conference on Computer Vision 2001, Proceedings, pp.439 – 446, vol.2, acedido na ieeexplore, retirado da internet em 14 de Abril de 2010, <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?isNumber=20294&arNumber=937658&isnumber=20294&arNumber=937658>

Sousa, PM, n.d, *Mental Ray*, Texto de apoio à disciplina de Animação do Curso de Cinema e Multimédia, ULHT, Lisboa, MOVLAB, retirado da internet 8 de Janeiro de 2008, <<http://movlab.ulusofona.pt/cms/templates/movlab/files/3d/12Mental%20Ray-Ambient%20Reflective%20Occlusion%20Shader.pdf>>

Spaulding, K 2009, *Brief History of Computers: A Look Back at Computing*, Versão 20. Knol., retirado da internet em 9 de Janeiro de 2010, <<http://knol.google.com/k/kevin-spaulding/brief-history-of-computers/3smazt4fj02nv/24>>

Sphere mapping, AbsoluteAstronomy.com © 2010, retirado da internet em 18 de Julho de 2010, <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Sphere_mapping>

Spitzer, J, n.d., *Real-Time Procedural Effects*, Game developers Conference, retirada da internet em 29 de Maio de 2010, <<http://developer.nvidia.com/docs/IO/8343/RealTime-Procedural-Effects.pdf>>

Subdivisionmodeling.com, n.d., 'A sub-division modelers primer', retirada da internet em 4 de Setembro de 2010, <<http://www.subdivisionmodeling.com/page1.htm>>

Sun, X, Zhou, K, Stollnitz, E, Shi, J & Guo, B 2008, *Interactive Relighting of Dynamic Refractive Objects*, Zhejiang University, Microsoft Research Asia, Microsoft Research, Sun Xin Publications 2008-2010, Sun Xins homepage, retirado da internet em 6 de Julho de 2010, <<http://www.sunxin.name>>

Tatarchuk, N 2006a, *Dynamic Parallax Occlusion Mapping with Approximate Soft Shadows*, ATI Research, Inc., retirado da internet em 5 de Junho de 2010, <http://developer.amd.com/media/gpu_assets/Tatarchuk-POM-SI3D06.pdf>

Tatarchuk, N, 2006b, *Practical Parallax Occlusion Mapping for Highly Detailed Surface Rendering*, 3D Application Research Group - ATI Research, Game Developers Conference, 20-24 de Março de 2006, San Jose - California, Inc., retirado da internet em <http://developer.amd.com/gpu_assets/GDC06-Tatarchuk-Parallax_Occlusion_Mapping.pdf>

Tatarchuk, N, 2006c, *Dynamic Parallax Occlusion Mapping with approximate soft shadows*, Symposium on Interactive 3D Graphics and Games, 3D Application Research Group - ATI Research, Inc., © 2006 Association for Computing Machinery, Inc., retirado da internet em 5 de Junho de 2010, <http://developer.amd.com/media/gpu_assets/I3D2006-Tatarchuk-POM.pdf>

Thoma - dedicated to accuracy, n.d., 'Virtual Studio Technology', retirado da internet em 22 de Fevereiro de 2010, <<http://www.thoma.de/en/application/index.html>>

Thomas, GA 2007a, *Mixed Reality Techniques for TV and their Application for On-Set and Pre-Visualisation in Film Production*, White Paper 145, BBC Research & Development, retirado da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp145.shtml>>

Thomas, GA 2007b, *Real-Time Camera Pose Estimation for Augmenting Sport Scenes*, White Paper 146. BBC Research & Development, retirado da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp146.shtml>>

Thomas, GA, Jin, J, Niblett, T & Urquhart, C 1997, *A versatile camera position measurement system for virtual reality TV production*, BBC & The Turing Institute, International Broadcasting Convention (IBC 97), Amesterdão, 12-16 de Setembro, pp. 284-289, retirado da internet em 9 de Fevereiro de 2008, <http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/papers/paper_05/paper_05.shtml>

Ultimatte Corporation, © 2010 Ultimatte Corporation , retirado da internet em 27 de Março de 2010, <<http://www.ultimatte.com>>

Ultimatte software.com, ©2007-2010 Ultimatte Corporation, retirado da internet em 4 de Julho de 2010, <<http://www.ultimatte-software.com/>>

Universidade do Minho, 2009, retirado da internet em 31 de Março de 2009, <http://www.uminho.pt/Default.aspx?tabid=8&pageid=652&lang=pt-PT>

Universidade Lusófona de Tecnologias e Humanidades, 2009, retirado da internet em 31 de Março de 2009, <<http://www.ulusofona.pt/>>

Urssi, NJ, 2006, *A Linguagem Cenográfica*, Dissertação de Mestrado, Escola de Comunicações e Artes da Universidade de S. Paulo, S.Paulo, retirado da internet em 18 de Novembro de 2007, <www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/C%EAnica/Pesquisa/a_linguagem_cenografica.pdf>

UV Mapper, 2009, ©2009 Stephen L Cox, retirada da internet em 23 de Abril de 2010, <<http://www.uvmapper.com/index.html>>

Valich, T, 2009, 'AMD finally steps up and offers CrossFire Pro, Genlock/Framelock support', *bsn* - bright side of news*, © 2009 - 2010 Bright side of news* retirado da internet em 5 de Julho de 2010, <<http://www.brightsideofnews.com/news/2009/7/29/amd-finally-steps-up-and-offers-crossfire-pro2c-genlockframelock-support.aspx>>

Valich, T, 2010, 'AMD FirePro V8800 attacks Quadro, nVidia's profit stronghold', *bsn* - bright side of news*, retirado da internet em 5 de Julho de 2010, © 2009-2010 Bright side of news*, <<http://www.brightsideofnews.com>>

Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia*, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retirado da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>

VANTeC - *Tecnologias de Informação | Sistemas de Informação*, © 2010 | Todos os direitos reservados a VANTeC, S.A., retirado da internet em 28 de Agosto de 2010, <<http://www.vantec.pt/>>

VANTeC - *Tecnologias de Informação | Sistemas de Informação*, 2007a, 'Novembro de 2007: SIC Actualiza o sistema de Cenografia Virtual', Home > News, retirado da internet em 17 de Fevereiro de 2009, <http://www.vantec.pt/>

VANTeC - *Tecnologias de Informação | Sistemas de Informação*, 2007b, 'RTP adjudica à VANTeC sistema topo de gama de 3D On-Air Graphics e Cenografia Virtual do prestigiado fabricante Israelita ORAD HI-TEC SYSTEMS - press release VANTeC', retirado da internet em 15 de Fevereiro de 2009, <http://www.vantec.pt/downloads/Orad_RTP_press.pdf>

VANTeC - *Tecnologias de Informação | Sistemas de Informação*, 2006a, 'Press Release - Projecto de Cenografia Virtual na SIC', retirado da internet em 15 de Fevereiro de 2009, <http://www.vantec.pt/downloads/SIC_Projecto_Cenografia_Virtual_Press_Release%20.pdf>

VANTeC - *Tecnologias de Informação | Sistemas de Informação*, 2006b, 'TVI arranca com nova linha gráfica baseada em DVG', home > news, retirado da internet em 16 de Novembro de 2007, <<http://www.vantec.pt/>>

Vinten Radamec - *Broadcast Robotics*, © Vitec Group 2010, retirado da internet em 22 de Fevereiro de 2010, <<http://www.vintenradamec.com/>>

Virtual networks, © Virtualnetworks NV LLC 2009, retirado da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://www.virtualnetworks.com/index.htm>>

*Virtualsets.com*TM: *Virtualset design, consulting and systems integration*, ©1990-2010 Virtualsets.com, Inc., retirada em 8 de Fevereiro de 2009, <<http://virtualsets.com/>>

Virtualset.net - the new Virtual Set Production, n.d., retirado da internet em 23 de Janeiro de 2010, <<http://virtualset.net/index.htm>>

Vita, DF 2008, *Posibilidades artísticas de la imagen electrónica: el Chroma-key*, Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Valência, Valência, retirado da internet em 14 de Novembro de 2009, <<http://dspace.upv.es/xmlui/handle/10251/3343>>

Vizrt, n.d, retirado da internet em 5 de Julho de 2010, <<http://www.vizrt.com>>

VRayDisplacementMod, 2010, © 2001-2010 by Chaos Software Ltd., retirado da internet em 10 de Maio de 2010, <http://www.spot3d.com/vray/help/150SP1/displMod_params.htm>

V.ray.materials, © 2006 Dennis A. Hoppe and Marco Schrenk, retirado da internet em 22 de Outubro de 2010, <http://www.vray-materials.de/all_materials.php>

VRML, © 2010 WordIQ.com, retirada da internet em 25 de Junho de 2010, <<http://www.wordiq.com/definition/VRML>>

Wang, L, Wang, X, Tong, X, Lin, S, Hu, S, Guo, B & Shum, HY, 2003, *View-Dependent Displacement Mapping*, Microsoft Research Asia, Tsinghua University, © 2003 ACM, retirado da internet em 5 de Junho de 2010, <<http://research.microsoft.com/pubs/69023/vdm.pdf>>

Wang, X, Tong, X, Lin, S, Guo, SHB & Shum, HY, 2004, *Generalized Displacement Maps*, Tsinghua University, Microsoft Research Asia, retirado da internet em 5 de Junho de 2010, <http://cg.cs.tsinghua.edu.cn/papers/esr_wx.pdf>

Waters, Z, 2003, *Photon Mapping*, retirado da internet em 3 de Julho de 2010, <http://web.cs.wpi.edu/~emmanuel/courses/cs563/write_ups/zackw/photon_mapping/PhotonMapping.html>

What is mia_material?, n.d., retirado da internet em 28 de Abril de 2010, <http://download.autodesk.com/us/maya/2010help/mr/shaders/architectural/arch_mtl.html>

yaldex.com, n.d., 'Algorithms in Game Programming', retirado da internet em 31 de Maio de 2010, <http://www.yaldex.com/game-programming/0131020099_ch21lev1sec2.html>

Zagalo, NT 2007, *Convergência entre o cinema e a Realidade Virtual*, Tese de Doutorado, Universidade de Aveiro, Aveiro, retirado da internet em 23 de Março de 2009, <<http://biblioteca.sinbad.ua.pt/teses/2008001260>>

Z-buffer, © 2010 WordIQ.com, retirada da internet em 25 de Junho de 2010, <<http://www.wordiq.com/definition/Z-buffer>>

BIBLIOGRAFIA - VIDEOS

James Cameron Stereoscopic 3D camera, 25 de Março de 2009, visualizado na internet em 11 de Dezembro de 2009, <<http://vodpod.com/watch/1465496-james-cameron-stereoscopic-3d-camera>>

Avatar original HQ video Behind the Scenes {farooq}, 18 de Dezembro de 2009, visualizado na internet em 24 de Janeiro de 2010, <<http://www.youtube.com/watch?v=0ZaMSeqKY5A&feature=related>>.

BIBLIOGRAFIA – IMAGENS

Fig. 1a/1b – *Lucas 1983 – 2005, A photo essay*, n.d., retirada da internet em 5 de Dezembro de 2009, <http://chefelf.com/starwars/lucas_1983-2005.php>

Fig. 2 -. Vita, DF 2008, *Posibilidades artísticas de la imagen electrónica: el Chroma-key*, Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Valência, Valência, p.92, retirada da internet em 14 de Novembro de 2009, <<http://dspace.upv.es/xmlui/handle/10251/3343>>

Fig. 3a/3b - Vita, DF 2008, *Posibilidades artísticas de la imagen electrónica: el Chroma-key*, Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Valência, Valência, pp. 102-103, retiradas da internet em 14 de Novembro de 2009, <<http://dspace.upv.es/xmlui/handle/10251/3343>>

Fig. 4 - *Timeline - ILMfan - The Unofficial Industrial Light + Magic Website*, n.d., retirada da internet em 29 de Novembro de 2010, <<http://www.ilmfan.com>>

Fig. 5 - *Schüfftan process*, 2008, retirada da internet em 29 de Novembro de 2009, <<http://www.flickr.com/photos/hollywoods/2634331169/>>

Fig. 6a/6b - *Timeline - ILMfan - The Unofficial Industrial Light + Magic Website*, © ILMfan.com 1996-2010, retirada da internet em 29 de Novembro de 2010, <<http://www.ilmfan.com>>

Fig. 7a/7b – *1000 Frames of Foreign Correspondent (1940)*, n.d., retiradas da internet em 29 de Novembro 2009, <[http://www.hitchcockwiki.com/wiki/1000_Frames_of_Foreign_Correspondent_\(1940\)_-_frame_693](http://www.hitchcockwiki.com/wiki/1000_Frames_of_Foreign_Correspondent_(1940)_-_frame_693)>e <[http://www.hitchcockwiki.com/wiki/1000_Frames_of_Foreign_Correspondent_\(1940\)_-_frame_921](http://www.hitchcockwiki.com/wiki/1000_Frames_of_Foreign_Correspondent_(1940)_-_frame_921)>

Fig. 8a/8b/8c – a) e b) Vita, DF 2008, *Posibilidades artísticas de la imagen electrónica: el Chroma-key*, Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Valência, Valência, p.110, retiradas da internet em 14 de Novembro de 2009, <<http://dspace.upv.es/xmlui/handle/10251/3343>>; c) Rich, JS 2008, *The Thief of Bagdad - #431*, n.d, retirada da internet em 20 de Janeiro de 2010, <<http://www.criterionconfessions.com/2008/05/thief-of-bagdad-431.html>>

Fig. 9 - *Timeline - ILMfan - The Unofficial Industrial Light + Magic Website*, n.d., retirada da internet

em 29 de Novembro de 2010, <<http://www.ilmfan.com>>

Fig. 10a/10b – a) *Westworld* (1973), n.d., retirada da internet em 15 de Abril de 2009, <[http://freeonlinemoviesforum.com/westworld-1973-t4552.html?s=4e0bc96afc24af44f36f2cffb8a8c951&";](http://freeonlinemoviesforum.com/westworld-1973-t4552.html?s=4e0bc96afc24af44f36f2cffb8a8c951&)>; b) Jenkins, C 2009, 'Without restoration Futureworld looks dated on DVD', *techradar.com*, retirada da internet em 15 de Abril de 2009, <<http://hcc.techradar.com/Playback/DVD/Futureworld+dvd+review>>

Fig. 11a/11b - *Star Wars – A New Hope*, Episódio IV (1977), à esq. holograma da "Death Star" e à dir. nave espacial. Os FX foram conseguidos respectivamente através da utilização de CGI e de miniaturas.a) *Death Stars: construction & destruction*, © copyright Curtis Saxton 1996-2005, retirada da internet em 2 de Dezembro de 2009, <<http://www.theforce.net/swtc/ds/ruction.html>>; b) *What is your favorite special effects moment?*, n.d., retirada da internet em 15 de Abril de 2010, <<http://forum.rpg.net/showthread.php?t=488421&page=6>>

Fig. 12 - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation - section 11:CG production companies*, The Ohio State University, retirada da internet em 2 de Dezembro de 2009, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lesson11.html>>

Fig. 13 - *Milestones in Film History: Greatest Visual and Special Effects and Computer-Generated Imagery (CGI) - part 12*, © 2010 American Movie Classics Company LLC, retirada da internet 30 de Novembro de 2009, <<http://www.filmsite.org/visualeffects.html>>

Fig. 14a/14b – a) Hormby, T 2007, *The Pixar Story: Dick Shoup, Alex Schure, George Lucas, Steve Jobs, and Disney*, retirada da internet em 3 de Dezembro de 2009, <<http://lowendmac.com/orchard/06/pixar-story-lucas-disney.html>> ; b) *Milestones in Film History: Greatest Visual and Special Effects and Computer-Generated Imagery (CGI) - part 12*, © 2010 American Movie Classics Company LLC, retirada da internet 30 de Novembro de 2009, <<http://www.filmsite.org/visualeffects.html>>

Fig. 15 - *Famous Historical CGI Images*, © 20th Century Fox, retirada da internet em 6 de Outubro de 2010, <<http://wiki.jpatch3d.org/doku.php?id=images:images>>

Fig. 16a/16b – a) *gameinformer* © 2010, retirada da internet em 6 de Outubro de 2010, <http://gameinformer.com/blogs/members/b/tognick_blog/archive/2010/05/30/another-top-10-another-category-sci-fi-movies-this-time.aspx>; b) *Milestones in Film History: Greatest Visual and Special Effects and Computer-Generated Imagery (CGI) - part 13*, © 2010 American Movie Classics Company LLC, retirada da internet 30 de Novembro de 2009, <<http://www.filmsite.org/visualeffects.html>>

Fig. 17a /17b - a) Nattyb, 2009, *10 Movies That Introduced New Technologies*, retirada da internet 6 de Dezembro de 2009, <<http://unrealitymag.com/index.php/2009/02/18/10-movies-that-introduced-new-technologies/>>; b) Vallance, T 2008, 'Stan Winston: Oscar-winning special-effects artist on 'Jurassic Park' and 'Aliens'', *The Independent*, retirada da internet 6 de Dezembro de 2009, <<http://www.independent.co.uk/news/obituaries/stan-winston-oscarwinning-specialeffects-artist-on-jurassic-park-and-aliens-849177.html>>

Fig. 18a/18b/18c – Dunlop, R, n.d., 'Babylon Lost Tales - part two', *CGSociety Feature Article*, © 2002-2010 Ballistic Media - All Rights reserved, retiradas da internet em 15 de Abril de 2010, <http://features.cgsociety.org/story_custom.php?story_id=4102>

Fig. 19 - 'Pixar's "Toy Story" best animated film of all time', *Chip Company*, retirada da internet em 12 de Dezembro de 2009, <<http://www.chipandco.com/2009/10/pixars-toy-story-best>>

animated-film-of-all-time/>

- Fig. 20a/20b/20c - Vita, DF 2008, *Posibilidades artísticas de la imagen electrónica: el Chroma-key*, Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Valência, Valência, pp.114-115, retiradas da internet em 14 de Novembro de 2009 , <<http://dspace.upv.es/xmlui/handle/10251/3343>>
- Fig. 21a/21b - Vita, DF 2008, *Posibilidades artísticas de la imagen electrónica: el Chroma-key*, Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Valência, Valência, p.125, retiradas da internet em 14 de Novembro de 2009 , <<http://dspace.upv.es/xmlui/handle/10251/3343>>
- Fig. 22a/22b - Vita, DF 2008, *Posibilidades artísticas de la imagen electrónica: el Chroma-key*, Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Valência, Valência, p.136, retiradas da internet em 14 de Novembro de 2009, <<http://dspace.upv.es/xmlui/handle/10251/3343>>
- Fig. 23a/23b - Vita, DF 2008, *Posibilidades artísticas de la imagen electrónica: el Chroma-key*, Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Valência, Valência, p.131 e 135, retiradas da internet em 14 de Novembro de 2009 , <<http://dspace.upv.es/xmlui/handle/10251/3343>>
- Fig. 24 - Vita, DF 2008, *Posibilidades artísticas de la imagen electrónica: el Chroma-key*, Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Valência, Valência, p.140, retirada da internet em 14 de Novembro de 2009 , <<http://dspace.upv.es/xmlui/handle/10251/3343>>
- Fig. 25a/25b/25c - Vita, DF 2008, *Posibilidades artísticas de la imagen electrónica: el Chroma-key*, Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Valência, Valência, p.140-141, retiradas da internet em 14 de Novembro de 2009, <<http://dspace.upv.es/xmlui/handle/10251/3343>>
- Fig. 26 – 'A batalha: dar vida à graphic novel', n.d., *CinePop*, © Cinepop.com.br , retirada da internet em 11 de Novembro de 2009, <<http://www.cinepop.com.br/especial/300.htm>>
- Fig. 27a/27b - 300 - *The complete experience - Making of 300 - Ink to film*, © 2007 Warner Bros. Ent., retiradas da internet em 11 de Novembro de 2009, <<http://www.300ondvd.com/300.html>>
- Fig. 28a/28b – 300 - *The complete experience - Making of 300 - Ink to film*, © 2007 Warner Bros. Ent., retiradas da internet em 11 de Novembro de 2009, <<http://www.300ondvd.com/300.html>>
- Fig. 29 - Attili, W 2007, *300 the movie... too much visual effects*, retirada da internet em 11 de Novembro de 2009, <<http://sha3teely.com/?p=513>>
- Fig. 30 - Kempton, M 2010, 'London's old (and present) ITV studios', *An incomplete history of London's television studios*, retirada da internet em 18 de Janeiro de 2010, <<http://www.tvstudiohistory.co.uk/studio%20history.htm>>
- Fig. 31 - Kempton, M 2010, 'London's old (and present) ITV studios', *An incomplete history of London's television studios*, retirada da internet em 18 de Janeiro de 2010, <<http://www.tvstudiohistory.co.uk/studio%20history.htm>>
- Fig. 32a/32b - Kempton, M 2010, 'London's old (and present) ITV studios', *An incomplete history of London's television studios*, retiradas da internet em 18 de Janeiro de 2010, <<http://www.tvstudiohistory.co.uk/studio%20history.htm>>

- Fig. 33 - Kempton, M 2010, 'London's old (and present) ITV studios', *An incomplete history of London's television studios*, retirada da internet em 18 de Janeiro de 2010, <<http://www.tvstudiohistory.co.uk/studio%20history.htm>>
- Fig. 34 - Kempton, M 2010, 'London's old (and present) ITV studios', *An incomplete history of London's television studios*, retirada da internet em 18 de Janeiro de 2010, <<http://www.tvstudiohistory.co.uk/studio%20history.htm>>
- Fig. 35 - Kempton, M 2010, 'London's old (and present) ITV studios', *An incomplete history of London's television studios*, retirado da internet em 18 de Janeiro de 2010, <<http://www.tvstudiohistory.co.uk/studio%20history.htm>>
- Fig. 36a/36b/36c - Walker, H 2010, *TV ARK BBC news | Bulletins & other news*, retiradas da internet em 25 de Janeiro de 2010, <<http://www2.tv-ark.org.uk/news/bbcnews/news.html>>
- Fig. 37a/37b/37c - Walker, H 2010, *TV ARK BBC news | Bulletins & other news*, retiradas da internet em 25 de Janeiro de 2010, <<http://www2.tv-ark.org.uk/news/bbcnews/news.html>>
- Fig. 38a/38b/38c/38d - Shakespeare, R 2005, *Virtual light projection and virtual light transporter: A radiance exploration*, 4th Annual Radiance Workshop, Montreal, retiradas da internet em 3 de Novembro de 2011, <<http://www.radiance-online.org/radiance-workshop4/cd/website/PDF/chttp://www.radiance-online.org/radiance-workshop4/cd/website/PDF/Shakespeare.pdf>>
- Fig. 39 - *Brainstorm Multimedia*, Home > Corporate > History, © 2007 Brainstorm Multimedia S.L., retirada da internet em 14 de Fevereiro de 2009, <<http://www.brainstorm.es/newweb/history.php>>
- Fig. 40 - Vita, DF 2008, *Posibilidades artísticas de la imagen electrónica: el Chroma-key*, Tese de Doutoramento, Universidade Politécnica de Valência, Valência, retirada da internet em 14 de Novembro de 2009, <<http://dspace.upv.es/xmlui/handle/10251/3343>>
- Fig. 41a/41b - *ORAD - Mastering VideoGraphics*, 2010a, Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010, retiradas da internet em 3 de Julho de 2010, <<http://www.orad.tv/>>
- Fig. 42a/42b - *ORAD: Mastering VideoGraphics*, 2010a, Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010, retiradas da internet em 3 de Julho de 2010, <<http://www.orad.tv/>>
- Fig. 43 - *ORAD: Mastering VideoGraphics*, 2010a, Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010, retirada da internet em 3 de Julho de 2010, <<http://www.orad.tv/>>
- Fig. 44 - *Ultimatte software.com*, 'AdvantEdge brochure', ©2007-2010 Ultimatte Corporation, retirada da internet em 4 de Julho de 2010, <<http://www.ultimatte-software.com/advantedge-brochure.htm>>
- Fig. 45 - 'The state-of-the-art virtual studio solution with intuitive drag-and-drop interface', *Benchmark Broadcast Systems*, products > broadcast > virtual sets > Viz Virtual Studio™, Copyright © 2008-2010 Benchmark Broadcast Systems, retirada da internet em 9 de Dezembro de 2009, <<http://www.benchmark-broadcast.com/products/broadcast/vset.html>>
- Fig. 46a/46b - *Virtual networks*, © Virtualnetworks NV LLC 2009, retiradas da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://www.virtualnetworks.com/index.htm>>
- Fig. 47a/47b - *CG4TV.com: Royalty Free Virtual Set Library*, © 2010 CG4TV, retiradas da internet

em 22 de Janeiro de 2010, <<http://www.cg4tv.com/virtual-set>>

Fig. 48a/48b – a) *I Informação*, 2009, retirada da internet em 12 de Outubro de 2010, <<http://www.ionline.pt/conteudo/37028-vara-quer-voltar-ao-bcp-accionistas-aprovam>>; b) *Rio das Maças*, 2009, retirada da internet em 12 de Outubro de 2010, <<http://riodasmacas.blogspot.com/2009/08/confidencias.html>>

Fig. 49a/49b/49c/49d – *bloomgraphics*, Global Media & Technology Solutions, retirada da internet em 26 de Junho de 2010, <<http://bloomgraphics.tv/>>

Fig. 50a/50b - Silveiro, P 2006, 'Estúdio de Cenografia Virtual na ESCS', *Politecnia*, Junho de 2006, pp.40-43, retiradas da internet em 16 de Novembro de 2007, <www.ipl.pt/politecnia/n12/NovoelInteressante.pdf>

Fig. 51a/51b/51c/51d - a) e b) imagens fornecidas por Filipe Costa Luz da ULHT & c) e d) *MovLab: Laboratório de Tecnologias de Interação e Interfaces*, © 2010 Movlab - Laboratório de Tecnologias de Interação e Interfaces, retiradas da internet em 17 de Março de 2009, <<http://movlab.ulusofona.pt/cms/>>

Fig. 52a/52b - fotografias realizadas por Paulo Gonçalves, 2008

Fig. 53a/53b/53c/53d - a) *ORAD: Mastering VideoGraphics*, 2007, retirada da internet em 16 de Novembro de 2007, <<http://www.orad.co.il/en/index.asp>>; b) Grau, O, Koch, R, Lavagetto, F, Milne, M, Murphy, E, Price, M, Razzoli, O, Sarti, A, Spallarossa, L, Tubaro, S & Woetzel, J 2003, *New production tools for the planning and the on-set visualisation of virtual and real scenes*, White Paper 073, BBC Research & Development, retirada da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp-pdf-files/WHP073.pdf>>; c) 'Working on Avatar', *Perfect fit Post*, 8 de Fevereiro de 2010, retirada em 27 de Março de 2010, <<http://www.perfectfitpost.com/news/working-on-avatar>>; d) *Virtual networks*, © Virtualnetworks NV LLC 2009, retirada da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://www.virtualnetworks.com/index.htm>>

Fig. 54 - fotografias realizadas por Paulo Gonçalves, 2008

Fig. 55 - Vinten Radamec: Broadcast Robotics, © Vitec Group 2010, retirada da internet em 22 de Fevereiro de 2010, <<http://www.vintenradamec.com/>>

Fig. 56 - Hummelstrand, J 2006, *General Specialist: Greenscreen and Bluescreen checklist*, retirada da internet em 25 de Fevereiro de 2010, <<http://generalspecialist.com/2006/10/greenscreen-and-bluescreen-checklist.asp>>

Fig. 57a/57b - *ORAD: Mastering VideoGraphics*, 2007, retirada da internet em 16 de Novembro de 2007, <<http://www.orad.co.il/en/index.asp>>

Fig. 58a/58b - fotografias realizadas por Paulo Gonçalves no estúdio virtual da RTP em Lisboa, 2008

Fig. 59a/59b/59c - *ORAD: Mastering VideoGraphics*, 2007, retirada da internet em 16 de Novembro de 2007, <<http://www.orad.co.il/en/index.asp>>

Fig. 60a/60b - *ORAD: Mastering VideoGraphics*, 2007, retiradas da internet em 16 de Novembro de 2007, <<http://www.orad.co.il/en/index.asp>>

Fig. 61a/61b - *Thoma: dedicated to accuracy*, n.d., 'Virtual Studio Technology', retiradas da internet em 22 de Fevereiro de 2010, <<http://www.thoma.de/en/application/index.html>>

- Fig. 62 - *Furio* - *Fx-motion.com*, n.d., home > applications, retiradas da internet em 23 de Fevereiro de 2010, <<http://www.fx-motion.com/applications/>>
- Fig. 63a/63b/63c – *BBC research Production Magic*, n.d., Projects > Free-D, retiradas da internet em 2 de Março de 2010, <<http://www.bbc.co.uk/rd/projects/virtual/free-d/index2.shtml>>
- Fig. 64a/64b/64c – *Ultimatte Corporation*, © 2010 Ultimatte Corporation, retiradas da internet em 27 de Março de 2010, <<http://www.ultimatte.com>>
- Fig. 65a/65b - *Computer Graphics I*, n.d., 'CEG476/CEG676', Department of Computer Science and Engineering, Wright State University, retiradas da internet em 18 de Março de 2010, <<http://asaha.com/ebook/UNjlyMTA-/CEG476-CEG676-Computer-Graphics-I.pdf>>
- Fig. 66 - Even, E 2010, 'Zoic Studios'ZEUS: A VFX Pipeline for the 21st Century', *Design Your Eyes*, retirada da internet em 30 de Abril de 2010, <<http://idesignyoureyes.com/tag/3d-animation/>>
- Fig. 67a/67b - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation, section 19*, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>
- Fig. 68 - Luz, FC 2005a, *Cenografia Virtual – Construir ambientes digitais*, ULHT, Lisboa, retiradas da internet em 26 de Janeiro de 2009, <http://paginas.ulusofona.pt/p2052/experiencias/filipeluz_cenografiavirtual.html>
- Fig. 69a/69b/69c/69d - *Bradley Stone: Artist for hire*, n.d., 'A guide to 3D from Bradley Stone', retiradas da internet em 22 de Março de 2010, <<http://www.bradleystone.com/documents/Bradley-Stones-Guide-to-3D.pdf>>
- Fig. 70a/70b/70c – a) e b) Evans, C 2003, *Adding detail to subdivision surface models*, © 2003 All artworks Christopher Evans, retirada da internet em 12 de Abril de 2010, <http://chrisevans3d.com/tutorials/adv_subd.htm>; c) Burke, B, n.d., 'Organic modeling with spline cage in Maya: tutorial by brian burke'10', *varioussends.com*, retirada da internet em 16 de Abril de 2010, <http://www.digm.drexel.edu/collective/wp-content/uploads/2009/03/branface_splinecage.pdf>
- Fig. 71 - Dykstra, T 2009, *Animation master: the software that could land you a job at Pixar*, Elixir > Tech, © 2009 Elixir: a Compass Film Academy Publication, retirado da internet em 20 de Abril de 2010, <<http://blog.compassfilmacademy.com/2009/12/animation-master/>>
- Fig. 72a/72b/72c/72d/72e - Lehtinen, A 2009, *3D Graphics*, retiradas da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://knol.google.com/k/3d-graphics#>>
- Fig. 73a/73b – *Archinteriors Vol. 2.*, trinity3d.com, Archinteriors Vol 1 through Vol 5 Bundle - Download Only, © 2000-2010 Trinity Animation Inc., retiradas da internet em 16 de Outubro de 2010, <<http://www.trinity3d.com/product.php?productid=1347&cat=0&page=5>>
- Fig. 74a/74b/74c - Jensen, LS & Golias, R 2001, 'Deep-Water Animation and Rendering', *Gamasutra: The art & business of making games*, retiradas da internet de 31 de Maio de 2010, <http://www.gamasutra.com/gdce/2001/jensen/jensen_03.htm>
- Fig. 75a/75b/75c/75d/75e - *V.ray.materials*, © 2006 Dennis A. Hoppe and Marco Schrenk, retiradas da internet em 22 de Outubro de 2010, <http://www.vray-materials.de/all_materials.php>

Fig. 76a/76b - *Allegorithmic*, © 2003-2010 Allegorithmic, retiradas da internet em 30 de Maio de 2010, <<http://www.allegorithmic.com/?PAGE=GALLERY>>

Fig. 77a/77b - *Clowns*, retiradas da internet em 5 de Maio de 2010, <http://glunas.gameartist.ru/page_1.html>

Fig. 78a/78b/78c/78d/78e - *Lightwave Plugins for normal maps*, 2003, 'Normal maps', retiradas da internet em 6 de Maio de 2010, <<http://amber.rc.arizona.edu/lw/normalmaps.html>>

Fig. 79a/79b/79c - *V-RayDisplacementMod*, 2010, © 2001-2010 by Chaos Software Ltd., retiradas da internet em 10 de Maio de 2010, <http://www.spot3d.com/vray/help/150SP1/displMod_params.htm>

Fig. 80a/80b - Tatarchuk, N 2006a, *Dynamic Parallax Occlusion Mapping with Approximate Soft Shadows*, ATI Research, Inc., retiradas da internet em 5 de Junho de 2010, <http://developer.amd.com/media/gpu_assets/Tatarchuk-POM-SI3D06.pdf>

Fig. 81a/81b/81c/81d - 'Basic Texture Baking with V-Ray - part 1', *V-Ray rendering system 1.5 SP5*, Home > Tutorials, © 2001-2010 by Chaos Software Ltd, retiradas da internet em 6 de julho de 2010, <http://www.spot3d.com/vray/help/150SP1/tutorials_baking_part1.htm>

Fig. 82a/82b/82c - Miller, K 1999, *Lightmaps (Static Shadowmaps)*, 1999-2008 © Flipcode.com, retiradas da internet em 7 de Julho de 2010, <http://www.flipcode.com/archives/Lightmaps_Static_Shadowmaps.shtml>

Fig. 83a/83b - *NVIDIA Developer Zone*, 2004, 'OpenGL Cube Map Texturing', © 2010 NVIDIA Corporation, retiradas da internet em 10 de Maio de 2010, <http://developer.nvidia.com/object/cube_map_ogl_tutorial.html>

Fig. 84a/84b - Lehtinen, A 2009, *3D Graphics*, retiradas da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://knol.google.com/k/3d-graphics#>>

Fig. 85 - *What is mia_material?*, n.d., retirado da internet em 28 de Abril de 2010, <http://download.autodesk.com/us/maya/2010help/mr/shaders/architectural/arch_mtl.html>

Fig. 86a/86b/86c - fotografias disponibilizadas por Miguel Baptista da ESCS

Fig. 87a/87b/87c/87d - a) Estúdio virtual da RTP Porto foi tratado pela VICOUSTIC, © 2008-2010 TuGuitarras, retirada em 1 de Setembro de 2010, <<http://www.tuguitarras.com/cms/view/id/631/>>; b) Pires, S 2010, 'RTP inaugurou estúdio virtual no Porto', *Diário de Notícias - TV & Media*, retirada da internet em 1 de Setembro de 2010, <http://dn.sapo.pt/inicio/tv/interior.aspx?content_id=1588722&seccao=Televis%E3o>; c) e d) *PanoramaAudiovisual.com*, 'Vantec: uma referência em gráficos e virtuais Ibérica', © 2009-2010 Panorama Audiovisual, retirada da internet em 30 de Setembro de 2010, <<http://www.panoramaaudiovisual.com/pt/2010/11/04/Vantec-iberica-uma-refer%C3%Aancia-em-gr%C3%A1ficos-e-virtuais/>>

Fig. 88a/88b - a) *Mass Effect 2 Review: The Good Shepard*, 2010, retirada em 28 de Fevereiro de 2010, <<http://www.dealspwn.com/mass-effect-2-review/>>; b) Peter, C 2010, *Review: Mass Effect 2*, retiradas em 28 de Fevereiro de 2010, <<http://www.thesixthaxis.com/2010/02/04/review-mass-effect-2/>>

Fig. 89 - imagem disponibilizada pelo autor

- Fig. 90 - *Subdivisionmodeling.com*, n.d., 'A sub-division modelers primer', retirada da internet em 4 de Setembro de 2010, <<http://www.subdivisionmodeling.com/page1.htm>>
- Fig. 91 - Luz, FC 2006c, Tutorial modelação e optimização de polígonos, ULHT, Lisboa, retirada da internet em 4 de Outubro de 2009, <http://movlab.ulusofona.pt/cms/templates/movlab/files/virttools/28tut_vir_modelacao.pdf>
- Fig. 92a/92b/92c –cenário disponibilizado por Baptista da ESCS
- Fig. 93 – imagem disponibilizada por Filipe Costa Luz
- Fig. 94a/94b/94c – modelo Brainstorm disponibilizado por Baptista da ESCS
- Fig. 95a/95b – imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS
- Fig. 96 - Luz, FC 2006c, *Tutorial modelação e optimização de polígonos*, ULHT, Lisboa, retirada da internet em 4 de Outubro de 2009, <http://movlab.ulusofona.pt/cms/templates/movlab/files/virttools/28tut_vir_modelacao.pdf>
- Fig. 97 – Luz, FC 2006b, *Texturização de objectos por Unwrap*, ULHT, Lisboa, retirada da internet em 9 de Julho de 2010, <http://movlab.ulusofona.pt/cms/templates/movlab/files/virttools/29tut_vir_unwrap.pdf>
- Fig. 98a/98b/98c - Luz, FC 2006a, *Tutorial de iluminação (Hollywood Set e Global Illumination)*, ULHT, Lisboa retiradas da internet em 9 de Julho de 2010, <http://movlab.ulusofona.pt/cms/templates/movlab/files/3d/4_tut_ilumin.pdf>
- Fig. 99a/99b/99c –imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS
- Fig. 100a/100b/100c –cenários Brainstorm - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS
- Fig. 101a/101b/101/101d - *BluffTiler DX9 - Effects*, © 2010 Outerspace Software., retiradas 15 de Agosto de 2010, <<http://www.outerspace-software.com/fx.html>>
- Fig. 102a/102b - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS
- Fig. 103a/103b/103c/103d – cenário Brainstorm - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS
- Fig. 104 – imagem disponibilizada pelo autor
- Fig. 105a/105b - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS
- Fig. 106a/106b - *eStudio v.11 - Brainstorm 10th users Meeting*, 2007, Training doc 2007.pdf, documento disponibilizado por Miguel Baptista da ESCS.
- Fig. 107 - imagens disponibilizadas por Filipe Costa Luz
- Fig. 108a/108b/108c – imagens disponibilizadas por Luz a), e por Baptista b) e c)
- Fig. 109a/109b – imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS
- Fig. 110a/110b – cenário Brainstorm - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS

- Fig. 111a/111b – cenário Brainstorm - imagens disponibilizadas por Baptista da ESCS
- Fig. 112a/112b – *bloomgraphics*, Global Media & Technology Solutions, retirada da internet em 26 de Junho de 2010, <<http://bloomgraphics.tv/>>
- Fig. 113 - *eStudio v.11 - Brainstorm 10th users Meeting*, 2007, Training doc 2007.pdf, documento disponibilizado por Miguel Baptista da ESCS.
- Fig. 114 – cenário Brainstorm - imagem disponibilizada por Baptista da ESCS
- Fig. 115a/115b/115c - *bloomgraphics*, Global Media & Technology Solutions, retiradas da internet em 26 de Junho de 2010, <<http://bloomgraphics.tv/>>
- Fig. 116 – cenário Brainstorm - imagem disponibilizada por Baptista da ESCS
- Fig. 117- 'Produtor comenta Avatar 2, DVD e relançamento do filme', *Entretenimento News*, 23 de Março de 2010, HQnews © 2010, retirada da internet em 30 de Março de 2010, <<http://entretenmentonews.com/dvds/produtor-comenta-avatar-2-dvd-e-relanamento-do-filme/>>
- Fig. 118a/118b - *Avatar original HQ video Behind the Scenes {faroog}*, 18 de Dezembro de 2009, imagens captadas em 24 de Janeiro de 2010 a partir do video <<http://www.youtube.com/watch?v=0ZaMSeqKY5A&feature=related>>.
- Fig. 119a/119b - a) retirada da internet em 13 de Janeiro de 2010, <<http://www.kinopoisk.ru/picture/1099679/>>; b) Martins, S 2009, *Confira agora o trailer de Avatar!*, © 2002-2010 Jovem Nerd, retirada da internet em 11 de Dezembro de 2010, <<http://jovemnerd.ig.com.br/jovem-nerd-news/cinema/caraconfira-agora-o-trailer-de-avatar/>>
- Fig. 120 - *digitalacting.com*, 2010, 'James Cameron Performance Capture re-invented AVATAR – Interview', © Digital Acting, retirada da internet em 7 de Março de 2010, <<http://www.digitalacting.com/2010/02/08/james-cameron-performance-capture-re-invented-avatar/>>
- Fig. 121 - Antunes, C 2010, *Split Screen*, retirada da internet em 13 de Janeiro, <<http://splitscreen-blog.blogspot.com/2010/01/avatar-por-carlos-antunes.html>>
- Fig. 122a/122b - *Avatar original HQ video Behind the Scenes {faroog}*, 18 de Dezembro de 2009, imagens captadas em 24 de Janeiro de 2010 a partir do video <<http://www.youtube.com/watch?v=0ZaMSeqKY5A&feature=related>>.
- Fig. 123a/123b/123c/123d - *Avatar original HQ video Behind the Scenes {faroog}*, 18 de Dezembro de 2009, imagens captadas em 24 de Janeiro de 2010 a partir do video <<http://www.youtube.com/watch?v=0ZaMSeqKY5A&feature=related>>
- Fig. 124a/124b - *Avatar original HQ video Behind the Scenes {faroog}*, 18 de Dezembro de 2009, imagens captadas em 24 de Janeiro de 2010 a partir do video <<http://www.youtube.com/watch?v=0ZaMSeqKY5A&feature=related>>
- Fig. 125 - James Cameron Performance Capture re-invented AVATAR - Interview, 2010, *digitalacting.com*, © Digital Acting, retirada da internet em 7 de Março de 2010, <<http://www.digitalacting.com/2010/02/08/james-cameron-performance-capture-re-invented-avatar/>>

- Fig. 126 - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation*, section 1, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>
- Fig. 127 - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation* - section 1, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>
- Fig. 128 - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation* - section 1, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>
- Fig. 129 - Samuels, E 2000, 'The Computer - The workings of the Computer', *The Illustrated Story of Copyright*, chp.4, retirada da internet em 13 Janeiro de 2010, <<http://www.edwardsamuels.com/illustratedstory/isc4.htm>>
- Fig. 130 - *Maravilhas da Tecnologia*, 2009, retirada da internet em 13 de janeiro de 2010, <http://rdressan.blogspot.com/2009_03_01_archive.html>
- Fig. 131 - Carsten, A 2009, 'Conheça mais sobre a IBM', *Guia do PC*, retirada da internet em 13 de Janeiro de 2010, <<http://www.guiadopc.com.br/artigos/9905/conheca-mais-sobre-a-ibm.html>>
- Fig. 132 - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation* - section 2, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>
- Fig. 133a/133b - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation*- section 3, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>; Remaeh, JE 2009, 'A utilização de um ambiente virtual como ferramenta facilitadora do aprendizado (II)', *Engenharia e Sistemas de Gestão*, Universidade Autônoma de Assunção, Paraguai, *investigalog*, retiradas da internet em 13 de Janeiro de 2010, <<http://www.investigalog.com/informatica/admin/a-utilizacao-de-um-ambiente-virtual-como-ferramenta-facilitadora-do-aprendizado-ii/>>
- Fig. 134 - IBM 2250 – Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation* - section 3, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>
- Fig. 135 – Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation* - section 4, The Ohio State University, retirado da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>
- Fig. 136a/136b – Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation* - section 4/5, The Ohio State University, retiradas da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>
- Fig. 137 - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation* - section 15, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>
- Fig. 138 - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation* - section 19, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>

- Fig. 139a/139b - *povray.org*, 'POV-Ray Hall of Fame', © 1994-2007 Hallam Oaks Pty. Ltd., retiradas da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://hof.povray.org/>>)
- Fig. 140 - *Universal Virtual Human Interface*, 'Virtual Humans Forum', © V.R.Consulting, retirado da internet em 11 de Janeiro de 2010, <http://www.vrconsulting.it/vhf/topic.asp?TOPIC_ID=446&whichpage=8>
- Fig. 141 - *Technabob*, 2008, 'Image metrics emily cg facial animation blows my mind', retiradas da internet em 13 de Janeiro de 2010, <http://gl.ict.usc.edu/Research/DigitalEmily/Backup_Publications/Blog/Blog.htm>
- Fig. 142 - *Morton Heilig, pioneer in virtual reality*, 2008, theory and research in hci research, retirada da internet em 12 de Janeiro de 2010, <<http://comm6480rpi.blogspot.com/2008/09/morton-heilig-pioneer-in-virtual.html>>.
- Fig. 143 - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation - section 17*, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>
- Fig. 144 - *SunXi Screenshots*, 2008, retirada da internet em 13 de Janeiro de 2010, <<http://sunxi.free.fr/index.htm>>
- Fig. 145a/145b - Remaeh, JE 2009, 'A utilização de um ambiente virtual como ferramenta facilitadora do aprendizado (II)', Engenharia e Sistemas de Gestão, Universidade Autônoma de Assunção, Paraguai, *investigalog*, retiradas da internet em 13 de Janeiro de 2010, <<http://www.investigalog.com/informatica/admin/a-utilizacao-de-um-ambiente-virtual-como-ferramenta-facilitadora-do-aprendizado-ii/>>
- Fig. 146 - Levin, G 2006, 'Hands Up! A Visual Essay on the "Media Art Pose"', Golan Levin and Collaborators Essays and Statements, *Flong.*, retirada da internet em 14 de Janeiro de 2010 <http://www.flong.com/texts/essays/essay_pose/>
- Fig. 147a/147b - Remaeh, JE 2009, 'A utilização de um ambiente virtual como ferramenta facilitadora do aprendizado (II)', Engenharia e Sistemas de Gestão, Universidade Autônoma de Assunção, Paraguai, *investigalog*, retirada da internet em 13 de Janeiro de 2010, <<http://www.investigalog.com/informatica/admin/a-utilizacao-de-um-ambiente-virtual-como-ferramenta-facilitadora-do-aprendizado-ii/>>; *NASA Virtual Environment Workstation*, n.d., retirada da internet em 13 de Janeiro de 2010, <<http://www.warrenrobinett.com/nasa/index.html>>
- Fig. 148a/148b - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation - section 17*, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>; Remaeh, JE 2009, 'A utilização de um ambiente virtual como ferramenta facilitadora do aprendizado (II)', Engenharia e Sistemas de Gestão, Universidade Autônoma de Assunção, Paraguai, *investigalog*, retirada da internet em 13 de Janeiro de 2010, <<http://www.investigalog.com/informatica/admin/a-utilizacao-de-um-ambiente-virtual-como-ferramenta-facilitadora-do-aprendizado-ii/>>
- Fig. 149 - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation - section 5*, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>
- Fig. 150 - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation - section 17*, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010,

<<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>

- Fig. 151 Howlett, E 1990, *Wide Angle Orthostereo*, *International Society for Optical Engineering Proceedings*, © 2006-2007 LeapVR, Ltd., retirada da internet em 13 de Janeiro de 2010, <<http://www.leapvr.com/37spie1990.html>>
- Fig. 152a/152b - Wenhart, N 2008, *prehysterics of new media*, retiradas da internet em 30 de Julho de 2010, <<http://prehysterics.blogspot.com/2008/10/virtual-reality-vr.html>>
- Fig. 153 - Birkmaier, C 2008, 'Will 1080p improve the quality of HDTV?', *Broadcast engineering*, Home Page > HDTV > Beyond HD, retirada da internet em 14 de Janeiro de 2010, <<http://broadcastengineering.com/hdtv/beyond-hd/>>
- Fig. 154a/154b – a) *Television History - The First 75 Years, 2001-2009*, © TVhistory.TV, retirada da internet em 14 de Janeiro de 2010, <<http://www.tvhistory.tv/1935-39GermanTV.htm>>; b) *A História da Televisão: da sua invenção ao início das transmissões a cores*, © MAGIA Comunicações 1998 - 2010, retirada da internet em 14 de Janeiro de 2010, <<http://www.tudosobretv.com.br/histortv/histormundi.htm>>
- Fig. 155 - *A História da Televisão: da sua invenção ao início das transmissões a cores*, © MAGIA Comunicações 1998 - 2010, retirada da internet em 14 de Janeiro de 2010, <<http://www.tudosobretv.com.br/histortv/histormundi.htm>>
- Fig. 156 - *Television History - The First 75 Years, 2001-2009*, © TVhistory.TV, retirada da internet em 14 de Janeiro de 2010, <<http://www.tvhistory.tv/1950-59-RCA.htm>>
- Fig. 157 - *Television History - The First 75 Years, '1960 - 1969 TV Set Advertising (USA)'*, 2001-2009 © TVhistory.TV, retirada da internet em 14 de Janeiro de 2010, <<http://www.tvhistory.tv/1960s-Advertising.htm>>
- Fig. 158 – meo - *Funcionalidades*, Experiência TV, PT © 2010, retirada da internet em 18 de Setembro de 2010, <<http://www.meo.pt/conhecer/tv/experienciatv/funcionalidades/Pages/favoritos.aspx>>
- Fig. 159a/159b - Grau, O 2002, *A studio production system for dynamic 3D content*, White Paper 077, BBC Research & Development, retiradas da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp077.shtml>>
- Fig. 160 - Kawakita, M, Iizuka, K, Nakamura, H, Mizuno, I, Kurita, T, Aida, T, Yamanouchi, Y, Mitsumine, H, Fukaya, T, Kikuchi, H & Sato, F 2004, *High-definition real-time depth-mapping TV camera: HDTV Axi-Vision Camera* acedida na Optics Info Base, retirada da internet em 13 de março de 2009, <<http://www.opticsinfobase.org/oe/abstract.cfm?id=80253>>
- Fig. 161 - Hummelstrand, J 2006, *General Specialist - Greenscreen and Bluescreen checklist*, retirada da internet em 25 de Fevereiro de 2010, <<http://generalspecialist.com/2006/10/greenscreen-and-bluescreen-checklist.asp>>
- Fig. 162 - Hummelstrand, J 2006, *General Specialist - Greenscreen and Bluescreen checklist*, retirada da internet em 25 de Fevereiro de 2010, <<http://generalspecialist.com/2006/10/greenscreen-and-bluescreen-checklist.asp>>
- Fig. 163 - Hummelstrand, J 2006, *General Specialist - Greenscreen and Bluescreen checklist*, retirada da internet em 25 de Fevereiro de 2010, <<http://generalspecialist.com/2006/10/greenscreen-and-bluescreen-checklist.asp>>.

- Fig. 164a/164b - Hummelstrand, J 2006, *General Specialist - Greenscreen and Bluescreen checklist*, retiradas da internet em 25 de Fevereiro de 2010, <<http://generalspecialist.com/2006/10/greenscreen-and-bluescreen-checklist.asp>>
- Fig. 165a/165b - Hummelstrand, J 2006, *General Specialist - Greenscreen and Bluescreen checklist*, retiradas da internet em 25 de Fevereiro de 2010, <<http://generalspecialist.com/2006/10/greenscreen-and-bluescreen-checklist.asp>>
- Fig. 166 – Hummelstrand, J 2006, *General Specialist - Greenscreen and Bluescreen checklist*, retirada da internet em 25 de Fevereiro de 2010, <<http://generalspecialist.com/2006/10/greenscreen-and-bluescreen-checklist.asp>>
- Fig. 167 - Hummelstrand, J 2006, *General Specialist - Greenscreen and Bluescreen checklist*, retirada da internet em 25 de Fevereiro de 2010, <<http://generalspecialist.com/2006/10/greenscreen-and-bluescreen-checklist.asp>>
- Fig. 168 - Hummelstrand, J 2006, *General Specialist - Greenscreen and Bluescreen checklist*, retirada da internet em 25 de Fevereiro de 2010, <<http://generalspecialist.com/2006/10/greenscreen-and-bluescreen-checklist.asp>> .
- Fig. 169 – *Virtualset design, consulting and systems integration*, Virtualsets.com™, ©1990-2010 Virtualsets.com, Inc., retirada em 8 de Fevereiro de 2009, <<http://virtualsets.com/>>
- Fig. 170 - *Virtualset design, consulting and systems integration*, Virtualsets.com™, ©1990-2010 Virtualsets.com, Inc., retirada em 8 de Fevereiro de 2009, <<http://virtualsets.com/>>
- Fig. 171 - *Ultimatte Corporation*, 'Ultimatte 9', © 2010 Ultimatte Corporation, retirada da internet em 27 de Março de 2010, <http://www.ultimatte.com/UltimatteMain/Downloads_files/Ult9Brochure_v3.pdf>
- Fig. 172 - *Virtualset design, consulting and systems integration*, Virtualsets.com™, ©1990-2010 Virtualsets.com, Inc., retirada em 8 de Fevereiro de 2009, <<http://virtualsets.com/>>
- Fig. 173 - *Virtualset design, consulting and systems integration*, Virtualsets.com™, ©1990-2010 Virtualsets.com, Inc., retirada em 8 de Fevereiro de 2009, <<http://virtualsets.com/>>
- Fig. 174 - Dillon, D 2008, 'CNN unveils hologram technology', *NewscastStudio - creative cast inspiration*, © 2009-2010 NewscastStudio, retirada da internet em 3 de Junho de 2010, <<http://www.newscaststudio.com/blog/2008/11/04/cnn-unveils-hologram-technology/>>
- Fig. 175 - *Ultimatte Corporation*, © 2010 Ultimatte Corporation , retirada da internet em 27 de Março de 2010, <<http://www.ultimatte.com>>
- Fig. 176 – *ORAD: Mastering VideoGraphics*, 2007, retirada da internet em 16 de Novembro de 2007, <<http://www.orad.co.il/en/index.asp>>
- Fig. 177a/177b - Thomas, GA 2007a, *Mixed Reality Techniques for TV and their Application for On-Set and Pre-Visualisation in Film Production*, White Paper 145, BBC Research & Development, retirada da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp145.shtml>>
- Fig. 178a/178b –a) Fiore, S 2009, *Conheça as futuras animações da DreamWorks*, retirada da internet da 8 de Setembro de 2010, <<http://100grana.wordpress.com/2009/05/28/conheca-as-futuras-animacoes-da-dreamworks/>>; b) Heo, M 2009, 'Virtual stage sets', *Wep by Michael Heo*, retirada da internet em 14 de janeiro de 2010,

<<http://michaelheo.wordpress.com/tag/gongsec/>>

- Fig. 179a/179b – Grau, O, Koch, R, Lavagetto, F, Milne, M, Murphy, E, Price, M, Razzoli, O, Sarti, A, Spallarossa, L, Tubaro, S & Woetzel, J 2003, *New production tools for the planning and the on-set visualisation of virtual and real scenes*, White Paper 073, BBC Research & Development, retiradas da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp-pdf-files/WHP073.pdf>>
- Fig. 180 - Grau, O 2005, *A 3D production pipeline for special effects in TV and film*, White Paper 108, BBC Research & Development, retirada da internet em 12 de Janeiro de 2009, <<http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp-pdf-files/WHP108.pdf>>
- Fig. 181 - Grau, O 2004, *3D sequence generation from multiple cameras*, White Paper 102, BBC Research & Development, retirada da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp102.shtml>>.
- Fig. 182 - Grau, O 2004, *3D sequence generation from multiple cameras*, White Paper 102, BBC Research & Development, retirada da internet em 9 de Novembro de 2008, <<http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp102.shtml>>
- Fig. 183 - *BBC Research - Production Magic*, BBC © MMX, retirada da internet em 27 de março de 2010, <<http://www.bbc.co.uk/rd/projects/iview/index.shtml>>
- Fig. 184 - Luz, FC 2002, *Manual de apoio Softimage XSI 2.0*, Parte I, Licenciatura em Cinema, Vídeo e Comunicação Multimédia, ULHT, Lisboa, retiradas da internet em 16 de Dezembro de 2008, <<http://paginas.ulusofona.pt/p2052/sebksi/index.html>>
- Fig. 185 - *Start 3D*, 2010, 'Vídeo Aula - Modelando Traveceiro - Garment Maker - Cloth - 3Ds Max 2010', retirada da internet em 10 de Outubro de 2010, <<http://start3d.blogspot.com/2010/09/video-aula-modelando-traveceiro-garment.html>>
- Fig. 186a/186b/186c/186d –Lehtinen, A 2009, *3D Graphics*, retiradas da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://knol.google.com/k/3d-graphics#>>
- Fig. 187 - Lehtinen, A 2009, *3D Graphics*, retiradas da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://knol.google.com/k/3d-graphics#>>
- Fig. 188 - Lehtinen, A 2009, *3D Graphics*, retiradas da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://knol.google.com/k/3d-graphics#>>
- Fig. 189 - Barata, J & Santos, J 2010, *3ds Max - Curso Completo*, FCA - Editora de Informática - Autodesk Authorized Publisher, Lisboa, passim
- Fig. 190 - Barata, J & Santos, J 2010, *3ds Max - Curso Completo*, FCA - Editora de Informática - Autodesk Authorized Publisher, Lisboa, pp. 196-197
- Fig. 191a/191b - a) *UV Mapper*, 2009, home > features, ©2009 Stephen L Cox, retirada da internet em 23 de Abril de 2010, <<http://uvmapper.com/features.html>>; b) Lomont, C 2006, 'Subdivision Surfaces I', *lomont.org*, ©1997-2010 Chris Lomont, retirada da internet em 2010, <<http://www.lomont.org/Software/>>
- Fig. 192 - Evans, C 2003, *Adding detail to subdivision surface models*, © 2003 All artworks Christopher Evans, retirada da internet em 12 de Abril de 2010, <http://chrisevans3d.com/tutorials/adv_subd.htm>

- Fig. 193 - Viera, A, n.d., 'Review do 3ds max 2010', *Três D1*, Início > Notícias, retirada da internet em 16 de Abril de 2010, <<http://www.tresd1.com.br/conteudonoticias.php?t=47766>>
- Fig. 194a/194b - *Blender.org*, 2010, 'Doc:Manual/Modeling/Meshes/Subdivision Surfaces', retirada da internet em 12 de Abril de 2010, <http://wiki.blender.org/index.php/Doc:Manual/Modeling/Meshes/Subdivision_Surfaces>
- Fig. 195 - Dykstra, T 2009, 'Animation master: the software that could land you a job at Pixar', *Elixir*, home > Tech, © 2009 Elixir: a Compass Film Academy Publication, retirada da internet em 20 de Abril de 2010, <<http://blog.compassfilmacademy.com/2009/12/animation-master/>>
- Fig. 196 - *Blender.org*, 2010, 'Doc:br/manual/modeling/curves', retirada da internet em 17 de Abril de 2010, <<http://wiki.blender.org/index.php/Doc:BR/Manual/Modeling/Curves>>
- Fig. 197 - *Blender.org*, 2010, 'Doc:br/manual/modeling/curves', retirada da internet em 17 de Abril de 2010, <<http://wiki.blender.org/index.php/Doc:BR/Manual/Modeling/Curves>>
- Fig. 198 - Luz, FC 2002, *Manual de apoio Softimage XSI 2.0*, Parte II, Licenciatura em Cinema, Vídeo e Comunicação Multimédia, ULHT, Lisboa, retirada da internet em 16 de Dezembro de 2008, <<http://paginas.ulsofona.pt/p2052/sebxsi/index.html>>
- Fig. 199 - *Human models*, n.d., retirada da internet em 17 de Abril de 2010, <<http://www.davelo.com/human.html>>
- Fig. 200 - Barata, J & Santos, J 2010, *3ds Max - Curso Completo*, FCA - Editora de Informática - Autodesk Authorized Publisher, Lisboa, p.223
- Fig. 201 - Barata, J & Santos, J 2010, *3ds Max - Curso Completo*, FCA - Editora de Informática - Autodesk Authorized Publisher, Lisboa, p.226
- Fig. 202a/202b/202c - a) Luz, FC 2002, *Manual de apoio Softimage XSI 2.0*, Parte IV, Licenciatura em Cinema, Vídeo e Comunicação Multimédia, ULHT, Lisboa, retirada da internet em 16 de Dezembro de 2008, <<http://paginas.ulsofona.pt/p2052/sebxsi/index.html>> ; b) e c) *Autodesk Maya Help 2011*, 'Sweep one or more profile curves along two path curves (birail)', User Guide > Modeling > NURBS Modeling > Creating NURBS surfaces, © 2000-2010 Autodesk, retiradas da internet em 23 de Junho de 2010, <http://download.autodesk.com/us/maya/2011help/index.html?url=./files/Trimming_Perform_boolean_operations_on_surfaces.htm,topicNumber=d0e246900>
- Fig. 203a/203b - Luz, FC 2002, *Manual de apoio Softimage XSI 2.0*, Parte II & Parte IV, Licenciatura em Cinema, Vídeo e Comunicação Multimédia, ULHT, Lisboa, retiradas da internet em 16 de Dezembro de 2008, <<http://paginas.ulsofona.pt/p2052/sebxsi/index.html>>
- Fig. 204a/204b - *Autodesk Maya Help 2011*, 'Create a surface within bounding curves', User Guide > Modeling > NURBS Modeling > Creating NURBS surfaces>, © 2000-2010 Autodesk, retiradas da internet em 23 de Junho de 2010, <http://download.autodesk.com/us/maya/2011help/index.html?url=./files/Trimming_Perform_boolean_operations_on_surfaces.htm,topicNumber=d0e246900>
- Fig. 205 - *Autodesk Maya Help 2011*, 'Round off the meeting point between two edges', User Guide > Modeling > NURBS Modeling > Creating NURBS surfaces > Create NURBS transition surfaces>, © 2000-2010 Autodesk, retiradas da internet em 23 de Junho de 2010, <http://download.autodesk.com/us/maya/2011help/index.html?url=./files/Trimming_Perform_boolean_operations_on_surfaces.htm,topicNumber=d0e246900>

- Fig. 206a/206b/206c - *Autodesk Maya Help 2011*, 'Extrude and bevel a surface from a curve', User Guide > Modeling > NURBS Modeling > Creating NURBS surfaces>, © 2000-2010 Autodesk, retiradas da internet em 23 de Junho de 2010, <http://download.autodesk.com/us/maya/2011help/index.html?url=../files/Trimming_Perform_boolean_operations_on_surfaces.htm,topicNumber=d0e246900>
- Fig. 207 - Lehtinen, A 2009, *3D Graphics*, retirada da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://knol.google.com/k/3d-graphics#>>
- Fig. 208a/208b/208c/208d/208e - Lehtinen, A 2009, *3D Graphics*, retiradas da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://knol.google.com/k/3d-graphics#>>
- Fig. 209 - *digital-tutors*, Forum > Maya > Maya Modeling > help with nurbs boolean, © 2002-2010 Digital-Tutors, a service of PL Studios, Inc., retiradas da internet em 22 de Abril de 2010, <<http://digitaltutors.com/forum/showthread.php?1252-help-with-nurbs-boolean&p=4455>>.
- Fig. 210a/210b - Renaud, L 2009, 'Exploding an Object in Reactor Part 1', *CGCookie Network*, retiradas da internet em 23 de Abril de 2010, <<http://max.cgcookie.com/2009/09/09/exploding-an-object-in-reactor-part-1/>>
- Fig. 211a/211b/211c - Lehtinen, A 2009, *3D Graphics*, retirada da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://knol.google.com/k/3d-graphics#>>
- Fig. 212 - A – Luz, FC 2002, *Manual de apoio Softimage XSI 2.0*, Parte III, Licenciatura em Cinema, Vídeo e Comunicação Multimédia, ULHT, Lisboa, retirada da internet em 16 de Dezembro de 2008, <<http://paginas.ulusofona.pt/p2052/sebksi/index.html>>
- Fig. 213 - Yalman, E 2010, *Carving An Egg In 3DS Max*, retirada da internet em 29 de Abril de 2010, <<http://www.dailyautocad.com/2010/04/carving-egg-in-3ds-max.html>>
- Fig. 214a/214b - *Elakiri.com*, 2007, 'Trancprancy shadow tute (Maya) [sic]', ElaKiri Community > General > Education, retiradas da internet em 29 de Abril de 2010, <<http://www.elakiri.com/forum/showthread.php?t=26261>>
- Fig. 215a/215b/215c - Jensen, LS & Golias, R 2001, 'Deep-Water Animation and Rendering', *Gamasutra - The art & business of making games*, retiradas da internet de 31 de Maio de 2010, <http://www.gamasutra.com/gdce/2001/jensen/jensen_03.htm>
- Fig. 216 - *3dRender.com*, 2001, Home > Glossary > Anisotropic Shading, © 2001 by Jeremy Birn, retirada da internet em 30 de Abril de 2010, <<http://www.3drender.com/glossary/index.htm>>
- Fig. 217 – Lehtinen, A 2009, *3D Graphics*, retirado da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://knol.google.com/k/3d-graphics#>>
- Fig. 218 - Okino Computer Graphics, 'Okino Customer Image Gallery - selection # 5', © 1995-2009 Okino Computer Graphics, Inc., Toronto, Canada, retirada da internet em 5 de Maio de 2010, <<http://www.okino.com/mainpic7.htm>>
- Fig. 219a/219b - Carlson, W 2003, *A Critical History of Computer Graphics and Animation - section 19*, The Ohio State University, retirada da internet em 11 de Janeiro de 2010, <<http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>>; *SpinQuad LightWave 3D Community*, 2005, 'IFW2 Textures v10.0 available', Support & Resources > Third Party LightWave Discussion, © 2000 - 2010, Jelsoft Enterprises Ltd. retirada da internet em 30

de Abril de 2010, <www.spinquad.com/forums/showthread.php?t=8613>

Fig. 220 - *yaldex.com*, n.d., 'Algorithms in Game Programming: Renderman', retirada da internet em 31 de Maio de 2010, <http://www.yaldex.com/game-programming/0131020099_ch21lev1sec2.html>

Fig. 221 - *yaldex.com*, n.d., 'Algorithms in Game Programming: Procedural Texture', retirada da internet em 31 de Maio de 2010, <http://www.yaldex.com/game-programming/0131020099_ch21lev1sec7.html>

Fig. 222 - Spitzer, J, n.d., *Real-Time Procedural Effects*, Game developers Conference, retirada da internet em 29 de Maio de 2010, <<http://developer.nvidia.com/docs/IO/8343/RealTime-Procedural-Effects.pdf>>

Fig. 223a/223b - *IFW2 Textures For Lightwave*, n.d., 'IFW2 Texture Procedurals', retiradas da internet em 30 de Maio de 2010, <http://www.shaders.org/ifw2_textures/procedurals.htm>

Fig. 224 - Spitzer, J, n.d., *Real-Time Procedural Effects*, Game developers Conference, retiradas da internet em 29 de Maio de 2010, <<http://developer.nvidia.com/docs/IO/8343/RealTime-Procedural-Effects.pdf>>.

Fig. 225 - Allegorithmic, © 2003-2010 Allegorithmic, retirado da internet em 30 de Maio de 2010, <<http://www.allegorithmic.com/?PAGE=GALLERY>>

Fig. 226 - *Zwame forum*, '[XBLA] RoboBlitz', © ZWAME 2008-2010, retirada da internet em 30 de Maio de 2010, <<http://forum.zwame.pt/showthread.php?t=99356>>

Fig. 227a/227b - *Allegorithmic*, © 2003-2010 Allegorithmic, retiradas da internet em 30 de Maio de 2010, <<http://www.allegorithmic.com/?PAGE=GALLERY>>

Fig. 228a/228b/228c - Hernández, F 2009, *Art Portfolio: 3D Artwork (Evironment Art & texture work)*, retiradas da internet em 16 de Outubro de 2010, <http://ferryartist.blogspot.com/2009_08_01_archive.html>

Fig. 229 - *UV Mapper*, 2009, ©2009 Stephen L Cox, retirada da internet em 23 de Abril de 2010 <<http://www.uvmapper.com/index.html>>

Fig. 230- *Update on Unwrella*, 2008, Reybomb Design Industrial, Multimedia Arts & Digital Work, Copyright © 2010 Reybomb Design LLC., retirada da internet em 7 de Maio de 2010, <<http://blog.reybomb.com/search/label/game%20design>>

Fig. 231a/231b - Blender 3D Architect, retiradas da internet em 15 de Setembro de 2010, <<http://www.blender3darchitect.com/2009/07/how-to-use-alpha-maps-to-render-trees-in-luxrender-and-blender-3d/>>

Fig. 232a/232b - Brito, A 2009a, 'How to use alpha maps to render trees in LuxRender and Blender 3D', *Blender 3D Architect*, retiradas da internet em 15 de Setembro de 2010, <<http://www.blender3darchitect.com/2009/07/how-to-use-alpha-maps-to-render-trees-in-luxrender-and-blender-3d/>>

Fig. 233a/233b - *Answers.com*, 'Bump mapping', Home > Library > Technology > Computer Encyclopedia, © 2010 Answers Corporation, retiradas em 7 de maio de 2010, <<http://www.answers.com/topic/bump-mapping>>

- Fig. 234a/234b/234c/234d – *Lightwave Plugins for normal maps*, 2003, 'Normal maps', retirado da internet em 6 de Maio de 2010, <<http://amber.rc.arizona.edu/lw/normalmaps.html>>
- Fig. 235a/235b – *East India Company*, © 2009 Nitro Games Ltd, retirada da internet em 7 de Maio de 2010, <http://www.eic-game.com/?page=modding_1>
- Fig. 236a/236b - Smits, B, Shirley, P & Stark, MM 2000, *Direct Ray Tracing of Smoothed and Displacement Mapped Triangles*, University of Utah, retiradas da internet em 29 de Abril de 2010, <<http://www.cs.utah.edu/~bes/papers/height/tech.pdf>>
- Fig. 237a/237b - *VRayDisplacementMod*, 2010, © 2001-2010 by Chaos Software Ltd., retiradas da internet em 10 de Maio de 2010, <http://www.spot3d.com/vray/help/150SP1/displMod_params.htm>
- Fig. 238 - *VRayDisplacementMod*, 2010, © 2001-2010 by Chaos Software Ltd., retirada da internet em 10 de Maio de 2010, <http://www.spot3d.com/vray/help/150SP1/displMod_params.htm>
- Fig. 239a/239b/239c - *XSI Base.com: Softimage XSI Community*, © 2002-2009 XSI Base.com, retiradas da internet em 26 de maio de 2010, <<http://www.xsibase.com/forum/index.php?board=29;action=display;threadid=28834>>
- Fig. 240a/240b – a) *Espaço do Gamer*, n.d., retirada da internet em 17 de Novembro de 2009, <<http://espacodogamer.blogspot.com/>> ; b) *Game over*, 2009, © Copyright 2000-2010, Internet Group - Portais: iG, iBest e BrTurbo, retirada da internet em 17 de Novembro de 2009, <<http://colunistas.ig.com.br/gameover/tag/half-life-2/>>
- Fig. 241a/241b - a) O'Connor, A 2009, 'A Mass Effect 2 Screenshots: Grunt and the Gang', *Shacknews*, retirada da internet em 17 de Novembro de 2009, <<http://www.shacknews.com/onearticle.x/60330>>; b) Barlow, A 2009, 'Preview: Heavy Rain', *The playstation network*, retirada da internet em 17 de novembro de 2010, <<http://www.theplaystationnetwork.com/preview-heavy-rain/>>
- Fig. 242 - *Musalive: The art of Luis Antonio*, Início > 3D work > Prisoner, © 2003-2009 by Luis Antonio, retiradas da internet em 24 de Abril de 2010, <<http://www.musalive.co.uk/gallery1418/thumbnails.php?album=13>>
- Fig. 243 - Comparação the quatro métodos de *bump mapping* aplicados a um quadrilátero simples. McGuire, M & McGuire, M 2005, *Steep Parallax Mapping*, Iron Lore Entertainment, I3D 2005 Poster, Brown Technical Report, retiradas da internet em 27 de Abril de 2010, <<http://graphics.cs.brown.edu/games/SteepParallax/index.html>>
- Fig. 244a/244b - McGuire, M & McGuire, M 2005, *Steep Parallax Mapping*, Iron Lore Entertainment, I3D 2005 Poster, Brown Technical Report, retirada da internet em 27 de Abril de 2010, <<http://graphics.cs.brown.edu/games/SteepParallax/index.html>>
- Fig. 245a/245b/245c – Policarpo, F, Oliveira, MM & Comba, JLD 2005, *Real-Time Relief Mapping on Arbitrary Polygonal Surfaces*, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005, retiradas da internet em 30 de Maio de 2010, <http://www.inf.ufrgs.br/~oliveira/pubs_files/Policarpo_Oliveira_Comba_RTRM_I3D_2005.pdf>
- Fig. 246a/246b/246c/246d – Policarpo, F, Oliveira, MM & Comba, JLD 2005, *Real-Time Relief Mapping on Arbitrary Polygonal Surfaces*, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005, retiradas da internet em 30 de Maio de 2010, <http://www.inf.ufrgs.br/~oliveira/pubs_files/Policarpo_Oliveira_Comba_RTRM_I3D_2005>

pdf>

- Fig. 247a/247b/247c/247d – Wang, L, Wang, X, Tong, X, Lin, S, Hu, S, Guo, B & Shum, HY, 2003, *View-Dependent Displacement Mapping*, Microsoft Research Asia, Tsinghua University, © 2003 ACM, retiradas da internet em 5 de Junho de 2010, <<http://research.microsoft.com/pubs/69023/vdm.pdf>>
- Fig. 248 - Porquet, D, Dischler, JM & Ghazanfarpour, D 2005, *Real time High quality View dependent texture mapping using per-pixel visibility*, University of Strasbourg, & University of Limoges, proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia, aceso em CiteSeerX, retirada da internet em 5 de maio de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.104.3046&rep=rep1&type=pdf>>
- Fig. 249a/249b - Campbell, A, n.d., 'High definition gaming', n.d., *Driver Heaven - Hardware Reviews*, © 2010 Heaven Media Ltd, retirada da internet em 24 de Maio de 2010, <<http://www.hardwareheaven.com/reviews/X800XTdreview/ruby.htm>>
- Fig. 250a/250b - Tatarchuk, N 2006a, *Dynamic Parallax Occlusion Mapping with Approximate Soft Shadows*, ATI Research, Inc., retiradas da internet em 5 de Junho de 2010, <http://developer.amd.com/media/gpu_assets/Tatarchuk-POM-SI3D06.pdf>
- Fig. 251 - *Newtek Lightwave 3D 9.5 Released*, 2008, VFXtalk.com - digital compositing & VFX, retirada da internet em 6 de Julho de 2010, <<http://www.vfxtalk.com/forum/newtek-lightwave-3d-9-5-released-t16230.html>>
- Fig. 252a/252b - *Download Free IES lights*, n.d., MrCAD 3D NEWS, retirada da internet em 5 de Junho de 2010, <<http://www.mrcad.com/download-free-ies-lights/>>
- Fig. 253a/253b - *heroturko.org*, n.d., '# 1 Realistic Scene Rendering in 3ds Max', Categories: 3D Models > 3D Max, retirada da internet em 6 de Julho de 2010, <<http://www.heroturko.org/index.php?do=search>>
- Fig. 254 - Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retirada da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>
- Fig. 255a/255b - Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retiradas da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>
- Fig. 256 - Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retiradas da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>
- Fig. 257a/257b – Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retiradas da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>.

- Fig. 258 - Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retirada da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>.
- Fig. 259a/259b - Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retiradas da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>
- Fig. 260a/260b - Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retiradas da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>
- Fig. 261 - Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retirada da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>
- Fig. 262 - Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retirada da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>
- Fig. 263 - Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retirada da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>
- Fig. 264a/264b - Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retirada da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>
- Fig. 265a/265b/265c - Miller, K 1999, *Flipcode Articles - Daily Game Development News & Resources*, 1999-2008 © Flipcode.com, retirado da internet em 7 de Julho de 2010, <<http://www.flipcode.com/archives/articles.shtml>>
- Fig. 266a/266b - *Max Realms.com*, 2009, '3ds Max Models', Main > Game Ready Models > Game Ready Furniture, retiradas da internet em 20 de Setembro de 2010, <<http://www.max-realms.com/modules/wmpdownloads/viewcat.php?cid=34>>
- Fig. 267 - *The HDRI Handbook*, 'High Dynamic Range Imaging for Photographers and CG Artists', HDR Labs > Tutorials > Tips & Tricks FAQ, ©2008 - 2009 Kirt Witte, Christian Bloch, retirada da internet em 22 de Setembro de 2010, <<http://www.hdrilabs.com/tutorials/index.html>>
- Fig. 268 - Fernando, R & Kilgard, MJ, 2003, 'Environment Mapping Techniques', *The CG Tutorial: the Definite Guide to programmable Real-Time Graphics*, Addison Wesley Professional, Chp.17, acedido em developer.com, © 2010 QuinStreet Inc., retiradas da internet em 8 de Maio de 2010, <<http://www.developer.com/lang/other/article.php/2169281>>
- Fig. 269 - Fernando, R & Kilgard, MJ, 2003, 'Environment Mapping Techniques', *The CG Tutorial: the Definite Guide to programmable Real-Time Graphics*, Addison Wesley Professional, Chp.17, acedido em developer.com, © 2010 QuinStreet Inc., retirada da internet em 8 de

Maio de 2010, <<http://www.developer.com/lang/other/article.php/2169281>>

Fig. 270a/270b - a) Pohl, D 2008, *Ray Tracing and Gaming - One Year Later*, PC Perspective > Reviews, retirada da internet em 16 de Outubro de 2010, <<http://www.pcper.com/article.php?aid=506&type=expert&pid=4>>; b) *NVIDIA Developer Zone*, 2004, 'OpenGL Cube Map Texturing', © 2010 NVIDIA Corporation, retirada da internet em 10 de Maio de 2010, <http://developer.nvidia.com/object/cube_map_ogl_tutorial.html>

Fig. 271 - Fernando, R & Kilgard, MJ, 2003, 'Environment Mapping Techniques, *The CG Tutorial: the Definite Guide to programmable Real-Time Graphics*, Addison Wesley Professional, Chp.17, acedido em developer.com, © 2010 QuinStreet Inc., retirada da internet em 8 de Maio de 2010, <<http://www.developer.com/lang/other/article.php/2169281>>

Fig. 272 - Campbell, A, n.d., 'High definition gaming', n.d., *Driver Heaven - Hardware Reviews*, © 2010 Heaven Media Ltd, retirada da internet em 24 de Maio de 2010, <<http://www.hardwareheaven.com/reviews/X800XTdhreview/highdefinationgaming.htm>>

Fig. 273a/273b - *The HDRI Handbook*, 'Lighting a 3d scene with panoramic HDR imagery has revolutionized computer graphics', HDR Labs > Smart IBL > Overview, ©2007-2010 Christian Bloch, retiradas da internet em 22 de Setembro de 2010, <<http://www.hdrilabs.com/tutorials/index.html>>

Fig. 274a/274b/274c/274d - Luz, FC 2002, *Manual de apoio Softimage XSI 2.0*, Parte III, Licenciatura em Cinema, Vídeo e Comunicação Multimédia, ULHT, Lisboa, retiradas da internet em 16 de Dezembro de 2008, <<http://paginas.ulusofona.pt/p2052/sebksi/index.html>>

Fig. 275a/275b/275c - Ultimatte 9, Ultimatte Corporation, © 2010 Ultimatte Corporation, retiradas da internet em 27 de Março de 2010, <http://www.ultimatte.com/UltimatteMain/Downloads_files/Ult9Brochure_v3.pdf>

Fig. 276 - Navone, V, n.d., *The making of "Alien Song"*, retirado da internet em 14 de Abril de 2010, <<http://www.navone.org/HTML/MakingAlienSong.htm>>

Fig. 277a/277b - a) Mariano, L 2010, 'Sequência de "Avatar" contará história dos Na'vi', *Nume Na'vi - Tsun ngal tslam f'uti srak?*, retirada da internet em 3 de Junho de 2010, <<http://www.numenavi.blogspot.com/>>; b) *Cnet Reviews*, 2009, 'The 30 most anticipated video games of 2010 (photos)', ©CBS Interactive, retirada da internet em 3 de Junho de 2010, <http://reviews.cnet.com/2300-9995_7-10001955-16.html?s=0&o=10001955>

Fig. 278 - Shum, HY & Kang, SB 2000, *A Review of Image based rendering techniques*, *Microsoft Research*, retirado da internet em 29 de Março de 2009, <http://research.microsoft.com/pubs/68826/review_image_rendering.pdf>

Fig. 279 - Birn, J 2000a, 'Render passes, Layers and 3D compositing' in Digital Lighting & Rendering, *3DRender.com*, © 2000-2006 by Jeremy Birn, retirada da internet em 30 de Abril de 2010 <<http://www.3drender.com/light/compositing/index.html>>

Fig. 280 - Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retirada da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>

Fig. 281 - *Maxon - 3D for the Real World*, gallery > Architecture, © 2010 MAXON Computer, retirada da internet em 30 de Setembro de 2010,

<<http://www.maxon.net/gallery/architecture.html>>

Fig. 282a/282b – a) *Radiosity*, wordIQ.com, © 2010 WordIQ.com, retirada da internet em 25 de Junho de 2010, <<http://www.wordiq.com/definition/Radiosity>>; b) Chittim, J 2008, *Radiosity and raytracing*, retirada da internet em 22 de Janeiro de 2010, <<http://jonathonchittim.wordpress.com/>>

Fig. 283 - Ivan, M, 2010, *5 Things you need to know about raytracing*, retirada da internet em 14 de Março de 2010, <<http://www.pxleyes.com/blog/2010/03/5-things-you-need-to-know-about-raytracing/>>

Fig. 284 - Aurélio, M 2008, 'O que é e para que serve o Kerkythea?', *Kerkythea Dicas e Truques*, retirada da internet em 27 de Setembro de 2009, <<http://kerkytea.blogspot.com/2008/10/o-que-e-para-que-serve-o-kerkythea-o.html>>

Fig. 285 - Waters, Z, 2003, *Photon Mapping*, retirado da internet em 3 de Julho de 2010, <http://web.cs.wpi.edu/~emmanuel/courses/cs563/write_ups/zackw/photon_mapping/PhotonMapping.html>.

Fig. 286a/286b/286c - Bunnell, M 2005b, 'Dynamic Ambient Occlusion and Indirect Lighting' in GPU Gems 2, chp.14, *NVIDIA developer zone*, retiradas da internet em 18 de Maio de 2010, <http://http.developer.nvidia.com/GPUGems2/gpugems2_chapter14.html>

Fig. 287 - Unidev - *Programação de Jogos*, 2003, 'Clock Tower Scanline render again', Portal > Índice do Forum > Arte nos jogos eletrônicos > Modelagem 3D, Powered by phpBB ©, retirada da internet em 27 de Setembro de 2010, <<http://www.unidev.com.br/phpbb3/viewtopic.php?f=14&t=42925&start=0>>

Fig. 288a/288b/288c – *NVIDIA: DirectX 11 Tessellation*, NVIDIA > Produtos > GeForce > GTX 400 Arquitetura > GTX 400, © 2010 NVIDIA Corporation, retiradas da internet em 27 de Setembro de 2010, <http://www.nvidia.com.br/object/tessellation_br.html>

Diagrama 1 – Rotthaler, M 1996, *Virtual Studio Technology - an overview of the possible applications in television programme production*, European Broadcasting Union (EBU) Technical Review, retirado em 24 de Março de 2009, <http://www.ebu.ch/fr/technical/trev/trev_268-rotthaler.pdf>

Diagrama 2 - Imagem captada durante a formação *online* disponibilizada pela ORAD durante a realização desta dissertação, todos os direitos reservados a Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010 & 3Designer; *ORAD: Mastering VideoGraphics*, Orad Hi Tec Systems Ltd. © 2010, retirado da internet em 3 de Julho de 2010, <<http://www.orad.tv/>>

Diagrama 3 - Composição de imagem através da técnica de Chroma-key. Luz, FC 2006d, 2º Workshop de Cenografia Virtual, ULHT, Lisboa, retirado da internet em 16 de Novembro de 2007, <<http://paginas.ulusofona.pt/p2052/experiencias/cvirtual.pdf>>

Diagrama 4 – Giles, M 2008, *CUDA Programming on NVIDIA GPUs - Lecture 1: CPUs and GPUs*, Oxford-Man Institute of Quantitative Finance Oxford e-Research Centre, retirado da internet em 25 de outubro de 2010, <<http://people.maths.ox.ac.uk/gilesm/cuda/lecture1.pdf>>

Diagrama 5 – Oliveira, R, 2007, 'Videoplace (1974) // Myron Krueger', *Sistemas de Representação Interactivos*, retirado da internet em 16 de Fevereiro de 2010, <<http://sridc.wordpress.com/2007/11/29/videoplace-1974-myron-krueger/>>

Diagrama 6 - Albuquerque, ALPA 1999, *Cenários Virtuais com um estudo de Sincronismo de Câmara*, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, p.38, Rio de Janeiro, retirado da internet em 10 de Novembro de 2008, <www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Cinema%20V%EDdeo%20e%20TV/cenarios_virtuais/Cenarios%20Virtuais.pdf>

Diagrama 7 - Albuquerque, ALPA 1999, *Cenários Virtuais com um estudo de Sincronismo de Câmara*, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p.44, retirado da internet em 10 de Novembro de 2008, <www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Cinema%20V%EDdeo%20e%20TV/cenarios_virtuais/Cenarios%20Virtuais.pdf>

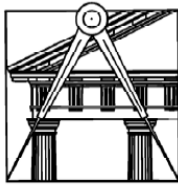
Tabela 1 - Luz, FC 2002, *Manual de apoio Softimage XSI 2.0*, Parte II, Licenciatura em Cinema, Vídeo e Comunicação Multimédia, ULHT, Lisboa, retiradas da internet em 16 de Dezembro de 2008, <<http://paginas.ulusofona.pt/p2052/sebksi/index.html>>; 4.-16. Barata, J & Santos, J 2010, *3ds Max - Curso Completo*, FCA - Editora de Informática - Autodesk Authorized Publisher, Lisboa, passim

Tabela 2 - *blender.org*, 2009, 'Doc:Manual/Materials/Properties/Diffuse Shaders', retiradas da internet em 24 de Abril de 2010, <http://wiki.blender.org/index.php/Doc:Manual/Materials/Properties/Diffuse_Shaders>

Tabela 3 - *VRayDisplacementMod*, 2010, © 2001-2010 by Chaos Software Ltd., retiradas da internet em 10 de Maio de 2010, <http://www.spot3d.com/vray/help/150SP1/displMod_params.htm>

Tabela 4 – Porquet, D, Dischler, JM & Ghazanfarpour, D 2005, *Real time High quality View dependent texture mapping using per-pixel visibility*, University of Strasbourg & University of Limoges, proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia, acedido em *CiteSeerX*, retiradas da internet em 5 de maio de 2010, <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.104.3046&rep=rep1&type=pdf>>

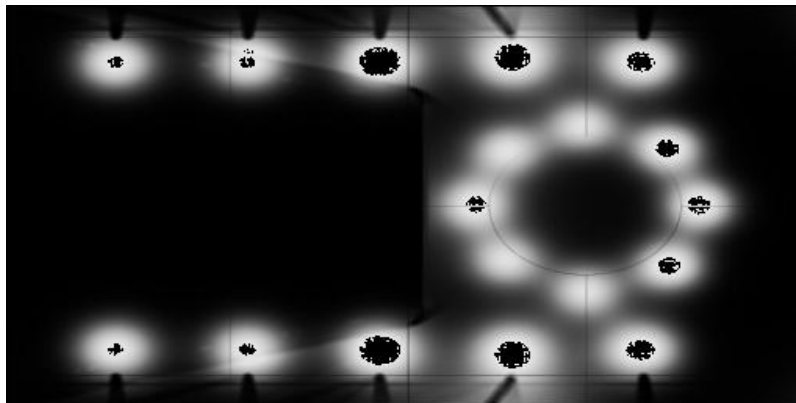
Tabela 5 – Valinho, L, Santos, S, Marques, T & Almeida, V 2007, *Técnicas Avançadas de Lighting e Rendering*, Licenciatura em Tecnologias de Informação e Multimédia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, retirado da internet em 30 de Junho de 2010, <<http://www.scribd.com/doc/5441398/Tecnicas-avancadas-de-Lightning-e-Rendering>>



UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
FACULDADE DE ARQUITECTURA

CENOGRAFIA VIRTUAL ENQUANTO TECNOLOGIA E O SEU DESENVOLVIMENTO E ADAPTAÇÃO AO MEIO TELEVISIVO

2º Volume – Apêndices



Maria do Rosário da Mota das Dores Ponce de Leão

Designer

DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE EM DESIGN DE PRODUTO

Orientador Científico:

Doutor Pedro Miguel Gomes Januário

Júri:

Presidente: Doutor José Manuel Pinto Duarte

Vogais: Doutor Pedro Miguel Gomes Januário

Mestre António Fernando Seródio Gomes Polainas

Lisboa, Dezembro 2010

APÊNDICE A. Avatar - Um expoente no desenvolvimento dos Efeitos Especiais

Hoje em dia a composição digital emprega-se em todo o tipo de formatos audiovisuais: *spots* televisivos e *videoclips*, sequências de videogames, séries televisivas e, de forma intensa, nas longas metragens. Os efeitos especiais, nas suas diferentes especialidades, tornaram-se um lugar comum.

Em 2009, *Avatar*, realizado por James Cameron, vem demonstrar através do domínio das técnicas de *bluescreen*, CGI, *Performance Capture*⁶⁹, Animação Digital e FX no geral, a excelência das possibilidades das realidades virtuais e aumentadas. Neste filme a personagem Jake Sully veste a pele de um avatar, resultado da mistura genética do ser humano com o ADN de um habitante do planeta Pandora, da raça dos Navi. O seu objectivo é infiltrar-se no planeta Pandora e descobrir uma forma de controlar o processo de extracção mineira para aproveitamento dos recursos naturais do planeta.



Fig. 117- *Avatar* (James Cameron, 2009), a produção de Realidades Aumentadas é exímia na integração dos elementos, sendo difícil distinguir o virtual do real (*Entertainment News*, 23 de Março de 2010).

⁶⁹ A *Performance Capture* é um avanço tecnológico sobre a técnica de *Motion Capture*. Permite para além de captar os movimentos dos actores, captar electronicamente as expressões faciais, das mãos, do cabelo, etc, transformando os dados em CGI.

Este projecto teve de esperar 14 anos de evolução tecnológica para poder ser produzido e realizado. O realizador considerou que estariam reunidas as condições para avançar com o argumento depois de terem sido criadas personagens digitais tão fascinantes e complexas como *Gollum* de *O Senhor dos Anéis*, *King Kong* e *Davy Jones* dos *Piratas das Caraíbas* e o *Cofre do Homem Morto*. Apenas cerca de 40% deste filme correspondem a imagens reais, sendo que os outros 60% são gerados por computador.

Cameron mais uma vez impulsiona as técnicas de FX através do desenvolvimento da *Performance Capture*, também chamada de *Digital Acting*. Diversos factores foram fundamentais para o seu advento, tais como:

- a evolução da CGI ou imagens geradas por computador com resultados foto-realistas;
- a evolução da Animação Digital;
- a evolução das realidades Aumentadas através do processo de *bluescreen* e composição digital entre imagens reais e imagens sintéticas;
- o melhoramento da técnica de captura dos movimentos e respectiva informatização de dados para aplicação em animação digital.



Fig. 118a/118b - A actriz Zoë Saldana interpretando a sua personagem digital Neytiri através da técnica de *Performance Capture* (*Avatar original HQ video Behind the Scenes {farooq}*, 2009).

Segundo a crítica, a *Performance Capture* promete modificar por completo a concepção de filmes digitais, em especial na animação de personagens (ver Fig. 118). Cameron afirma que todos os movimentos dos actores foram fielmente reproduzidos. Os actores tiveram de correr, saltar, lutar e realizaram todas as acções que podemos ver durante o filme (*digitalacting.com*, 2010).

A Realidade Aumentada surge neste filme como uma porta de entrada para um mundo completamente virtual. A utilização de um grande número de imagens visuais reconhecíveis pelos padrões humanos também facilita o processo de integração no mundo virtual (ver Fig. 119).

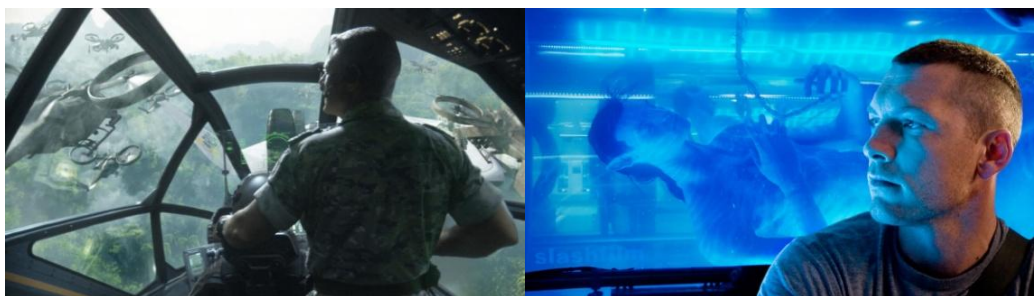


Fig. 119a/119b - *Avatar* (2009), Cameron escolheu o *greenscreen* para a captação das imagens reais que resultariam após composição digital nestas imagens (kinopoisk.ru & Martins 2009)

Para provocar esta sensação de imersão num mundo virtual James Cameron investe no desenvolvimento de uma câmara especial que permite filmar estereoscopicamente e na projecção tridimensional do seu filme no maior número de salas de cinema possível. O principal objectivo desta câmara é copiar a forma como o ser humano vê a realidade. Para isso foi construída com duas objectivas que se afastam e aproximam consoante o objectivo de focar um objecto mais próximo ou mais afastado (ver Fig. 120). O resultado na projecção 3D é que o espectador já não tem de se concentrar para tentar focar as duas imagens, podendo desfrutar em pleno da sensação de visualizar um mundo virtual a três dimensões. Neste caso não há imersão física com o apoio de videocapacetes ou *datagloves*, a imersão procurada por James Cameron é um processo individual realizável na mente de cada espectador (*James Cameron Stereoscopic 3D camera*,

2009). Segundo o realizador, o objectivo do filme não é compreendê-lo como um filme 3D, nem enaltecer as tecnologias utilizadas, é criar algo completamente novo e diferente. A história deve sobressair, fazendo com que os espectadores esqueçam os FX e mergulhem no enredo criado pelas personagens (*digitalacting.com*, 2010).



Fig. 120 - Câmara de filmar estereoscópica desenvolvida de propósito para a realização de Avatar, a mesma permite filmar em 2D e em 3D (*digitalacting.com*, 2010).

Este mundo luxuriante de florestas e água foi criado em CGI pela empresa de FX de Peter Jackson, a WETA Digital (ver Fig. 121). Neste momento os limites para a criação de mundos virtuais ficam apenas ditados pela capacidade de processamento de dados e o tempo disponível para a executar o *render* das imagens. No entanto, virtualmente e criativamente tudo será possível num futuro em que todos os dias cientistas trabalham para conceber novos algoritmos de cálculo, com o objectivo de aumentar a velocidade do processamento de dados necessário ao *render* de imagens foto-realistas.



Fig. 121 - O mundo virtual de "Pandora" foi criado pela empresa de Efeitos Digitais de Peter Jackson – WETA Digital (Antunes 2010).

Avatar prima por ter conseguido um foto-realismo tão impressionante que conseguimos ver as suas personagens digitais terem reacções tão terrenas como respirar, transpirar e chorar. Para a criação dos seres fantásticos que temos tido oportunidade de ver em filmes como o Senhor dos Anéis, tais como os *orcs* ou os *uruk-hai*, os *hobbits* e os elfos, foram produzidas centenas de próteses estéticas. Com a *Performance Capture* deixa de ser necessário investir horas de trabalho na concepção e aplicação dessas mesmas próteses. Elimina-se também o desconforto provocado pelas inúmeras horas passadas pelos actores nas cadeiras de caracterização. Acredita-se que a *Performance Capture* vai acabar por substituir grande parte das próteses estéticas e maquilhagem utilizada no cinema.



Fig. 122a/122b - Jake Sully na pele do seu avatar e Neytiri; repare-se na expressividade conseguida nas personagens digitais.

Cameron estabeleceu como o seu maior objectivo neste filme preservar os desempenhos dos actores nas personagens criadas por computador,

pois são elas que na realidade fazem valer o filme. Ele refere que os filmes vivem e respiram a partir dos *close-ups*, da expressividade facial das personagens, e daí a importância e o investimento que foram dados à captação da expressão facial (ver Fig. 122). Para a realização deste filme foi introduzido um sistema pioneiro de captura da expressão facial do actor durante a sua actuação. Desenvolvido em conjunto com a WETA Digital, elimina a necessidade de horas para colocar as centenas de pequenos marcadores esféricos extremamente desconfortáveis para os actores e também limitadores dos seus movimentos. O novo sistema utiliza um capacete muito leve concebido e moldado especialmente para se adaptar à cabeça do actor, de forma a que este não corra o perigo de deslizar, e ao qual foi incorporada uma câmara de filmar (ver Fig. 123). A solução do problema está no *software* que interpreta os movimentos na face do actor. À medida que a câmara vai captando as imagens, o *software* transforma-as em dados para o programa que anima a personagem digital (*digitalacting.com*, 2010).



Fig. 123a/123b/123c/123d - Sistema de captação da expressão facial com capacete personalizado e uma câmara de filmar incorporada; os elementos recolhidos são transformados em informação 3D por *software* apropriado.

Em termos físicos, foi criado um estúdio especial a que apelidaram *The Volume* - um estúdio seis vezes maior do que o normal - e que serviu para captar a acção de todas as cenas a serem recriadas digitalmente. Neste estúdio não se utiliza a técnica de *chroma*, o objectivo é captar todos os dados relativos à movimentação das personagens. No final tudo será criado e animado digitalmente.

Os actores trabalham num estúdio vazio, apenas com os acessórios necessários para mimetizar determinadas acções que decorrem no filme (ver Fig. 124).



Fig. 124a/124b - *The Volume* – estúdio preparado especialmente para a *Performance Capture*.

Também foi desenvolvida uma câmara especial que permite realizar cenas geradas virtualmente por computador com uma câmara real, inclusive é possível manuseá-la como se se estivesse a filmar uma cena real. Em cenas tradicionais CGI é utilizado o *motion capture* nos actores e as imagens são compostas digitalmente nos ambientes sintéticos em pós-produção. Com esta câmara especial, Cameron consegue em tempo-real visualizar as personagens digitais no ambiente 3D uma vez que já existem os dados relativos aos seus movimentos na totalidade dos 360°. O realizador pode ver e manipular o produto final enquanto faz a filmagem, permitindo-lhe conseguir os ângulos mais realistas, os movimentos mais intensos e encontrar o melhor equilíbrio entre o que é captado e gerado artificialmente (o grau de realismo destas imagens é equivalente ao de um videojogo dos anos 80). Um ano e meio depois em pós-produção as imagens vistas pelos espectadores são 100% realistas, indistinguíveis da fotografia (*Avatar original HQ video Behind the Scenes {faroq}*, 2009).

Ainda segundo Cameron, espera-se que no futuro o aperfeiçoamento de *software* e maior velocidade no processamento e armazenamento de dados permitam a criação de ambientes mais realistas, emoções faciais mais fiéis e movimentos das mãos mais refinados. Por enquanto os movimentos das mãos ainda estão numa fase pouco desenvolvida. A área da iluminação também precisa de ser melhorada e é preciso haver uma adaptação do processo às luzes cinematográficas para uma boa captação de sombras, etc. Algo

que melhorará com a criação de novos algoritmos e de *software* mais complexo (*digitalacting.com*, 2010).



Fig. 125 - Avatar, surge talvez como um esboço do cinema do futuro (*digitalacting.com*, 2010).

A longo prazo espera-se que surjam mais filmes com cenários completamente diferentes, novas personagens digitais de fantasia e ficção científica. Num futuro próximo isto poderá mesmo significar uma redução de custos de realização de um filme, ainda que de momento se dê o contrário. Espera-se que o filme Avatar seja um forte incentivo para as salas de cinema se adaptarem à projecção em 3D de filmes digitais e também para que outros realizadores sigam o seu exemplo criando novos trabalhos em 3D. Com o tempo toda a tecnologia se adaptará tanto a nível doméstico como público.

Avatar veio demonstrar-nos como os mundos virtuais e a Realidade Aumentada vão exercendo um fascínio cada vez maior, tornando-se uma forma de expressão cada vez mais presente e aceite no quotidiano dos espectadores. De dia para dia, o aumento da presença de realidades concebidas através de modelação tridimensional, tem vindo a evoluir proporcionalmente ao desenvolvimento das diferentes tecnologias associadas. Avatar trouxe, contudo, a prova de que a CGI e os FX em geral passaram para um novo patamar: ultrapassadas as imagens estáticas de qualidade fotográfica da década passada, a animação passou a confundir-se com a realidade, não só na replicação de objectos, personagens e seus movimentos, mas também na reprodução das diferentes cambiantes da expressividade humana.

APÊNDICE B.

Evolução de outras tecnologias que contribuíram significativamente para o desenvolvimento da Cenografia Virtual

B.1 EVOLUÇÃO DO COMPUTADOR

O primeiro dispositivo a ser considerado como um computador por ser programado e ter capacidade de armazenamento de dados, foi o tear automático de Joseph Lacquard (1801) controlado por cartões perfurados. Onde não havia buracos no cartão o tear não tecia e onde havia tecia. Esta ideia foi mais tarde aproveitada pela IBM para programar *software*. Em 1823 Charles Babbage inventa o *Difference Engine*, a maior e mais sofisticada calculadora do seu tempo. Outras investigações suas estão na base dos modernos computadores. No final de 1800, a necessidade de proceder a um recenseamento nos Estados Unidos levou à criação por Herman Hollerith de máquinas programáveis que processavam os dados através de cartões perfurados, acelerando profundamente a contagem. Após o sucesso destas máquinas Hollerith decide fundar a *Computer Tabulating Recording Company*. As suas máquinas alcançaram um grande sucesso comercial, levando a que em 1924 a companhia evoluisse e modifica-se o seu nome para IBM - International Business Machines, depois de se fundir com outras empresas semelhantes (Spaulding, 2009).

Em 1931 a U.S. Navy e a IBM começaram a trabalhar em conjunto na construção de um computador que pudesse ser utilizado com propósitos gerais, o Mark I. Foi o primeiro computador a utilizar um sistema binário, era programável e foi construído com tubos de vácuo, relés, imans e engrenagens. Ficou completo em 1944 e foi utilizado durante cerca de 14 anos, realizando diversos cálculos para a U.S. Navy durante a 2ª Guerra Mundial. O Mark I era ainda o resultado de uma mistura de electrónica e mecânica. Paralelamente o Exército Americano começa em 1943 a desenvolver um projecto exclusivamente electrónico, o Mark II. J. P. Eckert e John Mauchly encabeçaram o projecto levando à construção do ENIAC – Electronic Numerical Integrator and Calculator em 1946

(ver Fig. 126). O ENIAC tinha 18000 tubos de vácuo o que o tornava gigantesco pesando cerca de 30 toneladas. Colussus de Alan Turing, outro projecto construído na altura ajudou a descodificar o código alemão Enigma (Spaulding, 2009).

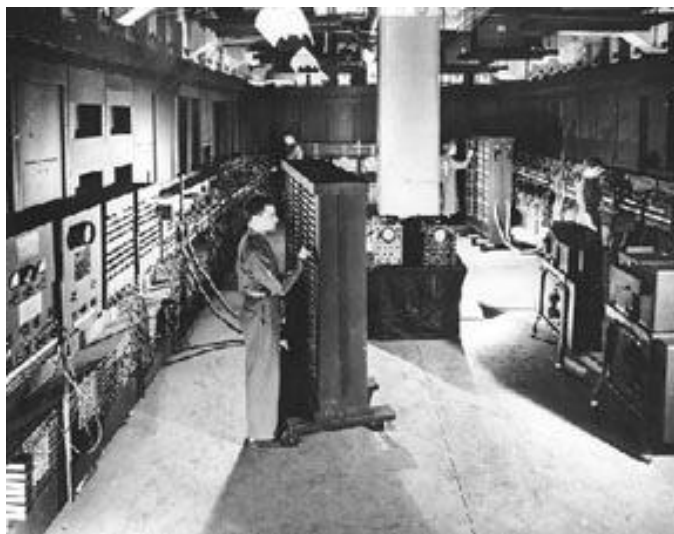


Fig. 126 - ENIAC - *Electronic Numerical Integrater and Calculator* (1946) (Carlson 2003, section 1).

Em 1951 foi construído o EDVAC, desenvolvido por Von Neumann trabalhava com programas armazenados no computador. Foi comercializado sob o nome de UNIVAC tendo ficado conhecido pelas suas correctas previsões nas eleições presidenciais de 1952 nos EUA. O primeiro computador da IBM a entrar em produção foi o IBM 701 (1952), tendo sido utilizado mais especificamente no cálculo científico. Todos estes computadores eram tecnologicamente pouco fiáveis, dispendiosos, lentos e muito grandes. Apenas pessoal especializado tinha acesso a estes computadores por utilizarem tubos de vácuo para calcular e armazenar informação, a sua manutenção era bastante difícil (Ibid.).

A segunda geração de computadores surgiu entre 1957 e 1965. Os computadores passaram a utilizar transistores desenvolvidos na Bell Laboratories em vez dos tubos de vácuo, fazendo com que os computadores passassem a ser mais fiáveis, baratos e também mais rápidos (ver Fig. 127). O computador começa a ser adquirido por empresas, universidades e agências governamentais mais

regularmente. A invenção das linguagens de computador FORTRAN e COBOL, em 1957 e 1959 respectivamente, fizeram com que surgissem os primeiros programadores. Estes computadores tinham mais memória nuclear e mais espaço para armazenamento de dados. O IBM System/360 foi considerado uma pedra fulcral na indústria, tendo sido comercializado para uma grande variedade de negócios e instituições (id. *ibid.*).

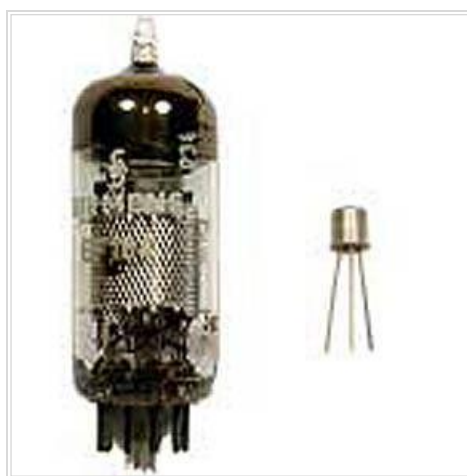


Fig. 127 - Tubo de vácuo e Transistor (1950-1960) (Carlson 2003, *section 1*).

A terceira geração surgiu entre 1965 e 1975, através da introdução dos circuitos integrados com transistores, resistências e condensadores que eram acoplados num pedaço de silicóneo. A redução de preço e tamanho nos computadores levou a que a indústria desenvolvesse a tendência para a miniaturização dos computadores. O Programmed Data Processor-1 (PDP-1), foi o primeiro mini-computador e o primeiro computador a correr um videojogo (ver Fig. 128). O *Spacewar*, foi escrito por Steve Russel no MIT em 1961 e foi o primeiro videojogo de arcadas escrito para o PDP-1 da DEC. Nos anos 70, formaram-se diversas companhias para dar vazão ao crescente número de utilizadores nas empresas, no governo, nas instituições militares e na educação. O primeiro mercado a desenvolver-se foi o dos programas de contabilidade e de estatística, surgindo também, durante este período, os primeiros *standards* que viriam a proporcionar a compatibilidade entre os sistemas. A possibilidade de enviar e-

mails surgiu algures entre 1961 e 1966, para computadores que estivessem interligados em rede (id. ibid.).



Fig. 128 - Computador PDP-1, o primeiro "minicomputer"(1960) (Carlson 2003, *section 1*).

A quarta geração corresponde ao período de 1975 a 1985, chegando-se à era do micro-computador. O primeiro foi o Altair 8800 em 1975, que ficou associado ao facto de Bill Gates e Paul Allen terem criado a Microsoft desenvolvendo uma linguagem chamada Altair BASIC, especificamente para ele. Mas é em 1976 que a Apple Computer, Inc. de Steve Jobs e Steve Wozniak, vem revolucionar esta indústria ao introduzir o Apple I. O computador trazia um teclado e apenas necessitava de um monitor ligado ao sistema para funcionar, uma ideia nova na altura. O Apple II foi editado no ano seguinte, um sucesso comercial que lançou a era do computador pessoal (ver Fig. 129) (id.ibid.).



Fig. 129 - Apple II (1977) (Samuels 2000)

Em 1981 foi lançado o MS-DOS (*Microsoft Disk Operating System*) para o micro-processador Intel 8086, tornando a linguagem MS-DOS no sistema operativo mais popular a nível mundial levando ao lançamento do Microsoft Windows 1.0 em 1985. Em 1984 a Apple lança o Mac OS, o primeiro computador a ter um sistema operativo completamente gráfico. O *software* tornou-se comum durante este período abrangendo toda a espécie de aplicações. Os computadores eram agora controlados por um teclado e um rato. Ainda em 1981 é lançado o primeiro computador portátil, o Osborne I (ver Fig. 130). Continuaram a construir-se super-computadores com o objectivo de atingir a maior rapidez possível, estes eram utilizados por companhias, universidades e pelos militares (id. *ibid.*).



Fig. 130 - Primeiro computador portátil Osborne I (1981) (*Maravilhas da Tecnologia*, 2009)

A última geração de 1985 até aos nossos dias trouxe-nos computadores extremamente mais rápidos e potentes. São diversos os produtores de *hardware* e *software*, acelerando pela competitividade a evolução dos computadores e das suas aplicações. A Microsoft domina a nível de sistema operativo e a Apple obteve um estrondoso sucesso com a edição de Mac OS X. Em 1991 Linus Torvald lança o programa Linux, um *opensource*⁷⁰, que leva à criação de outros sistemas operativos e *softwares* livres. Os computadores estão cada vez mais orientados para as *networks* devido ao desenvolvimento da *World Wide Web*. Em 2008, o IBM Roadrunner é apresentado como o computador mais

⁷⁰ O *Open Source*, segundo a definição criada pela *Open Source Initiative* (OSI) é um método de desenvolvimento de *software* que se baseia no poder da distribuição de processos e na sua transparência. O *Open Source* promete uma melhor qualidade e fiabilidade, mais flexibilidade, menores custos e um fim ao código proprietário e fechado (definição retirada do site www.esop.pt/).

rápido do mundo (ver Fig. 131). Os super-computadores continuam a ser desenvolvidos especialmente para a produção de FX no cinema e na realização de animações digitais (id.ibid.).

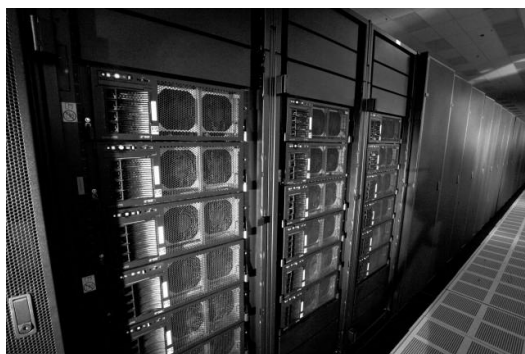


Fig. 131 - Super computador IBM *Roadrunner* (2008) (Carsten 2009).

B.2 EVOLUÇÃO DA COMPUTAÇÃO GRÁFICA

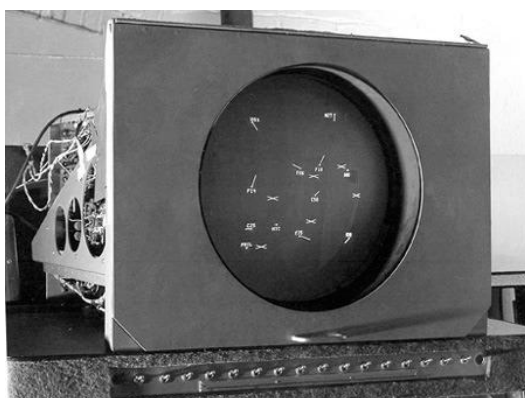


Fig. 132 - O computador *Whirlwind* gera e revela as posições dos aviões na consola (1951)(Carlson 2003, *section 2*).

Os primórdios da computação gráfica⁷¹ levam-nos aos anos 1940, quando Jay Forrester no M.I.T. projectou equipamento para treinar novos pilotos. O computador foi escolhido como instrumento ideal pela adaptabilidade e

⁷¹ A Computação Gráfica é a disciplina que permite produzir imagens através da utilização de computadores.

flexibilidade com que o mesmo podia ser programado. Contudo, só uns anos mais tarde é que um projecto para um sistema de radar de defesa, o Whirlwind, demonstrou as possibilidades da computação gráfica através de uma aplicação prática. O Whirlwind foi o primeiro computador de tubos de vácuo capaz de desenhar linhas e pontos num monitor de computador (Chang 2009).

Em 1958, o realizador experimental, John Whitney, criou uma curta animação utilizando um computador analógico para controlar o movimento do personagem. O mesmo utilizou a técnica para criar a sequência do título de abertura do filme de Alfred Hitchcock, *Vertigo*. Em 1957, havia fundado a empresa Digital Equipment Corporation (DEC) apenas com 3 empregados. Três anos mais tarde com o lançamento do PDP-1, o primeiro computador interactivo, esta empresa vem a ter um papel fundamental no desenvolvimento da computação gráfica (ibid.).

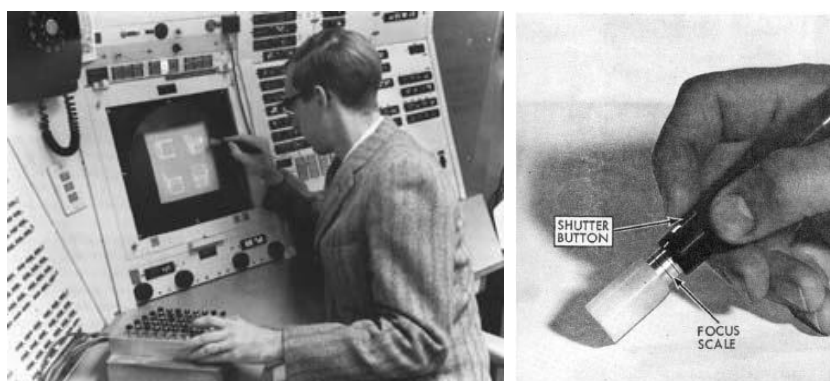


Fig. 133a/133b - Ivan Sutherland no MIT – *Sketchpad* (1961) e pormenor da *Light Pen* utilizada no *Sketchpad* (Carlson 2003, section 3 & Remaeh 2009).

Em 1961, Ivan Sutherland, desenvolve para a sua tese de Doutoramento, o *Sketchpad*, um programa de desenho para computador que impulsionou o desenvolvimento da computação gráfica, considerando-se mesmo que este seja o pai de todos os programas de CAD. O programa permitia desenhar formas simples no computador com uma *light pen*. A caneta usava uma pequena célula foto-eléctrica na ponta, que emitia um impulso electrónico quando a caneta era colocada à frente do monitor (ver Fig. 133). Na história da computação gráfica ficam demonstradas as possibilidades da *Computer Aided*

Drafting and Design (CADD), este programa baseava-se em gráficos com vectores (linhas) em vez de píxeis. No final dos anos 60, o CADD começou a ser utilizado na indústria mecânica, civil, química e automóvel, não tendo ainda, possivelmente pelos investimento necessário abrangido a área da arquitectura (id.ibid.).

Grandes corporações como a General Electric, a TRW, Lockheed-Georgia e Sperry Rand começaram a utilizar computação gráfica. A IBM correspondendo às necessidades de mercado, lança o primeiro computador comercialmente disponível para gráficos, o IBM 2250 (ver Fig. 134). Em 1963, o rato foi inventado por Doug Englebart do Stanford Research Institute, paralelamente surgiam as mesas de digitalização. Os dois dispositivos são 2D, pelo que se torna necessário mudar de coordenadas X e Y para se aceder à coordenada Z. Os verdadeiros dispositivos 3D eram muito dispendiosos, mas surgiram productos como a Spaceball da 3Dconnection e o 3D Controller da Logitech. Estes productos além de serem precisos permitiam usar *pan*, *zoom* e *rotate* nos modelos 3D (id.bid.).



Fig. 134 - IBM 2250 – o primeiro computador para gráficos (1964)(Carlson 2003, *section 3*).

Ralph Baer da Sanders Associates criou o primeiro videojogo para consumidores em 1966. Em 1968, Evans & Sutherland Corporation criam o LDS-1 (Line Drawing System) para gráficos acelerados por *hardware* e em conjunto com a General Electrics constroem os primeiros simuladores de voo com imagens *raster* em tempo-real. O LDS-1 era 100 vezes mais rápido do que o IBM 2250. No final

dos anos 60, Arthur Appel da IBM desenvolveu algoritmos percursores do *raytracing*,⁷² para calcular as superfícies não visíveis e as sombras (id.ibid.).

Nos anos 70 com o advento do computador pessoal, surgiram diversas novas teorias que levaram a computação gráfica a evoluir para um novo nível de realismo. Em 1971, Phong Bul-Toung em Utah desenvolve um novo método de *shading*, um melhoramento do *shading* de Gouraud⁷³. O método de Phong faz o *rendering* com precisão das cores nas superfícies e produz sombras e reflexos correctos. Em 1974, Ed Catmull no seu Doutoramento em ciência de computação descobre como aplicar o mapeamento de texturas, *Z-buffer*⁷⁴ e como gerar superfícies curvas (id.ibid.). No mesmo ano é fundado por Donald Greenberg, um dos laboratórios mais proeminentes em CG, o Program Computer Graphics na Universidade de Cornell em Ithaca, Nova Iorque. O seu trabalho ficou conhecido pelo trabalho pioneiro em imagens de síntese realistas, através do método da radiosidade para o cálculo da iluminação indirecta em cenas sintéticas (Carlson 2003, *section 5*).

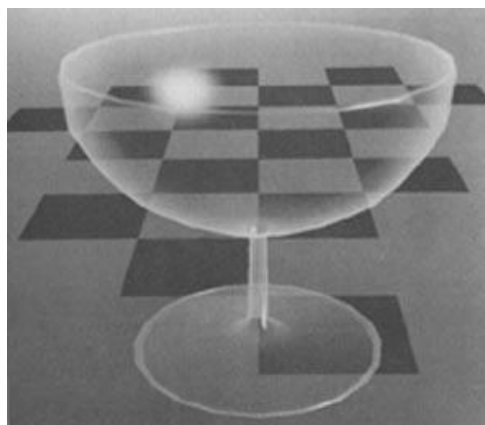


Fig. 135 – Exemplo da técnica de *Phong shading* em vidro transparente (Carlson 2003, *section 4*)

⁷² Um dos métodos mais populares usados em gráficos 3D para se render uma imagem.

⁷³ O *shading* de Gouraud é utilizado para conseguir uma iluminação suave em superfícies com poucos polígonos, sem exigir um grande esforço computacional para calcular a luz em cada pixel.

⁷⁴ A utilização do *Z-buffer* é essencial para executar o *rendering* de qualquer imagem 3D. O *Z-buffer* permite à placa de vídeo determinar quais os elementos da imagem que estão visíveis e quais os elementos que estão encobertos por outros e que como tal não devem ser incluídos na imagem gerada.

Entre 1975 e 1979 o laboratório de CG do NYIT (New York Institute of Tehnology), foi prolífico no desenvolvimento de *software* importante como o Tween, o programa Paint e o programa de animação SoftCel (ver Fig. 136a). Contribuíram também para o desenvolvimentos das técnicas de animação, fractais, *morphing*, composição digital e *texture mapping* (MipMap) entre outras (Carlson 2003, *section* 5). Em 1976, James Blinn em Utah desenvolve uma nova técnica chamada de *bump mapping* (ver Fig. 136b), capaz de simular a rugosidade da superfície através da interpretação de um mapa em escala de cinzas (Chang 2009). As linguagens BASIC, C e Unix foram desenvolvidas nos laboratórios Bell e Darthmouth. No final dos anos 70 Turned Whitted desenvolveu o *raytracing* recursivo que se tornou um *standard* para a obtenção de imagens foto-realistas, os jogos de arcada Pong e Pac Mac tornavam-se populares (Shoaff 2000).

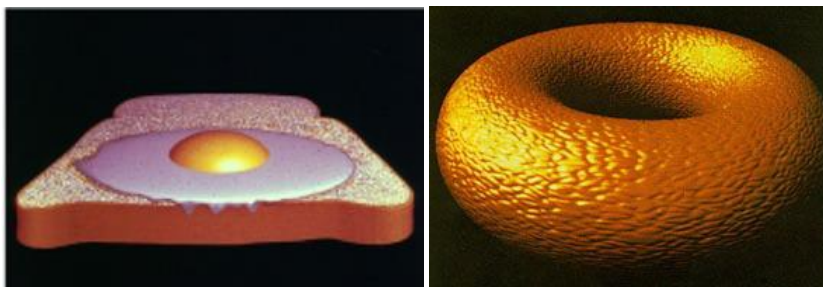


Fig. 136a/136b – a) imagem criada com o programa *Paint*; b) aplicação de *Bump mapping*, técnica criada por James Blinn (Carlson 2003, *section* 4 e 5).

Em 1980, na Universidade do Norte Carolina em Chapel Hill, o Graphics and Image Analysis Research Center começou a explorar arquitecturas de computador para gráficos 3D significativamente mais rápidas que as arquitecturas tradicionalmente aplicadas, em aplicações que exigiam grandes desempenhos como a visualização médica. O projecto iniciado chamou-se Pixel-Planes e focava-se na escalabilidade e *rendering* em tempo-real, a este projecto seguiu-se o Pixel Flow. Para além destes projectos a UNC participou em diversos projectos de realidade virtual (Carlson 2003, *section* 5). Em 1982 John Walkner e Dan Drake inventam o Auto CAD e em 1984 a Wavefron tech. produz o primeiro *software* para gráficos 3D, o programa Polhemus. Em 1985 é lançado o sistema de


jogos para uso doméstico da Nintendo (ver Fig. 137) (*A Brief history of computer graphics*, 2004).



Fig. 137 - Nintendo Family System (1983) (Carlson 2003, section 5).

Jym Kajiya foi recrutado para o Departamento de Ciência de Computação da Cal Tech em 1979 por Sutherland, formando um forte núcleo de investigação com Al Barr e Jim Blinn. Em 1986, Jym Kajiya introduz a importante “*rendering equation*” (ver Fig. 138). As suas várias formas foram a base do *physically-based rendering*, que trouxeram um novo nível de realismo à CG (Carlson 2003, section 5). A IBM introduz em 1987 o sistema VGA, Video Graphics Array e em 1989 surge a Super VGA (Video Electronics Standards Association – VESA) (*A Brief history of computer graphics*, 2004). É ainda nesta década que Loren Carpenter começa a explorar fractais na computação gráfica e a empresa Adobe é formada por John Warnock (Shoaff 2000).

The Rendering Equation



Jim Kajiya, 1986

$$I(x, x') = g(x, x') \left[\varepsilon(x, x') + \int_S \rho(x, x', x'') I(x', x'') dx'' \right]$$

- $I(x, x')$ – the total intensity from point x' to x
- $g(x, x') = 0$ when x/x' are occluded and $1/d^2$ otherwise ($d =$ distance between x and x')
- $\varepsilon(x, x')$ – the intensity emitted by x' to x
- $\rho(x, x', x'')$ – intensity of light reflected from x'' to x through x'
- S – all points on all surfaces

Fig. 138 - J. Kajiya. *The Rendering Equation*. Proc. of SIGGRAPH '86 (Dallas cit. Carlson 2003, section 19)

Em 1991, The National Science Foundation fundou o NSF Science and Technology Center for Computer Graphics and Scientific Visualization, um consortium de cinco importantes universidades (Cornell, Brown University, University of North Carolina em Chapel Hill, a University de Utah e Cal Tech). A missão original do Centro da NSF Center era reconstruir as fundações da computação gráfica. O centro ganhou grande notoriedade pelos desenvolvimentos conseguidos desde a sua fundação CG (Carlson 2003, *section 5*).

No início dos anos 90 as Workstation SGI (Silicon Graphics,inc.) com 16 MB de memória, monitor para imagens de 24 bits, com *hardware* de suporte para Gourad *shading* e *Z-buffering* para remover as superfícies não visíveis, eram os computadores mais desejados. Os sistemas operativos mais usados na computação grafica eram o Unix, o X e o Silicone Graphics GL. Os PCs ainda não suportavam gráficos 3D, por isso os programadores utilizavam “truques” para conseguir animação em tempo-real. O programa Mosaic, o primeiro navegador gráfico para internet é escrito na Universidade de Illinois pelo National Center for scientific Applications (NCSA). Sistemas dinâmicos (*phisically based modelling*) foram introduzidos permitindo animações com colisões, gravidade, fricção entre outros. Em 1994 a Silicon Graphics produz o Reality Engine, com *hardware* que permitia *texture mapping* em tempo-real. Entretanto, a consola de jogos Nintendo-64 chega ao mercado trazendo um motor para gráficos produzidos em tempo-real para as massas (Shoaff, 2000).



Fig. 139a/139b - Reflexos directos, radiosidade de reflexos difusos, *photon mapping*, entre outras técnicas são utilizadas na criação de imagens foto-realistas. As diversas técnicas combinadas tentam aproximar-se o mais possível da equação de *rendering* de Kajiya. As duas imagens foram criadas com o programa Pov Ray respectivamente por Gilles Train e Jaime Vives Piqueres (povray.org, © 1994-2007 Hallam Oaks Pty. Ltd.)

O mercado dos super computadores desenvolve-se levando a Microsoft a crescer e a Apple a perder espaço no mercado, para logo se levantar e continuar a evoluir. A Silicon Graphics acaba por perder terreno e ser absorvida, mas surgem novas empresas no campo da computação gráfica. Novas investigações para obter imagens foto-realistas aprofundam o *Imaged-based rendering*. Surgem potentes placas gráficas como NVIDIA e a 3dfx e os microprocessadores Pentium transformaram os PCs em poderosas *workstations*. Os videojogos com gráficos 3D tornam-se muito populares com jogos como o DOOM, Quake, Mario Brothers entre outros. A televisão de alta definição, HDTV, abriu caminho para novas aplicações da computação gráfica. A modelação 3D é agora acessível às massas, assim como a edição de vídeo, deixando ao alcance de todos a produção de imagens foto-realistas de grande qualidade. Desenvolveram-se ainda nesta década o *render* realístico de elementos difíceis como a rosto humano, o cabelo e a água (ver Fig. 140) (Shoaff, 2000).

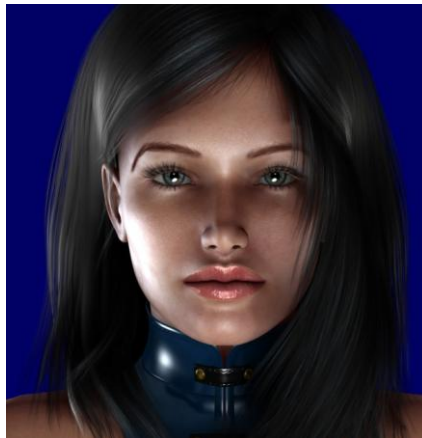


Fig. 140 - *Render* fotorealista de um rosto humano, 2007 (*Universal Virtual Human Interface*, © V.R.Consulting).

Na última década as capacidades de processamento e armazenamento de dados continuaram a avançar rapidamente, proporcionando grandes desenvolvimentos na computação gráfica. Em 2001 a GeForce da NVIDIA foi lançada com bastante sucesso e em 2003 são demonstradas as possibilidades do motor gráfico da ID Software através do lançamento do Jogo Doom 3. O jogo

Half-Life 2 e Doom 3 são um sucesso estrondoso pelo nível de realismo proporcionado, sendo que 2004 é um ano que fica marcado pelo facto da computação gráfica ter dado um passo de gigante através da evolução dos videojogos. Ainda no mesmo ano assiste-se ao desenvolvimento do poder gráfico para dispositivos portáteis. Tanto a NVIDIA como a ATI desenvolvem *processadores gráficos 3D* para telemóveis e PDAs (*personal digital assistant*). No final de 2004 a Sony começa a dominar o território da Nintendo ao lançar a PSP – Playstation Portable. Entretanto a ATI e a NVIDIA continuam a batalha para conseguir as placas gráficas mais potentes essenciais ao desenvolvimento de plataformas rápidas para *rendering* em tempo-real. São lançadas a Play Station 3 provida pela NVIDIA e a Xbox360 e Revolution com placas gráficas da ATI. De facto em 2005 as placas gráficas eram tão potentes que ultrapassavam largamente as necessidades dos jogos que estavam no mercado, sendo apenas realmente bem aproveitadas pelas *workstations* para animação e FX.

Hoje em dia a utilização da computação gráfica é muito vasta provocando um impacto abrangente nas nossas vidas. Desde os mundos virtuais e de entretenimento às aplicações científicas ou apresentações gráficas, as imagens produzidas por computador têm um impacto visual que tem sido claramente bem aproveitado pela nossa sociedade. O caminho nos próximos anos adivinha-se claramente na direcção do foto-realismo (ver Fig. 141), tendo as técnicas desenvolvidas para a indústria dos videojogos impulsionado a tecnologia também no sentido de suprir as necessidades da industria do cinema. Segundo Daniel E. Sevo (2005) no futuro é possível que os modelos 3D utilizados possam ser os mesmos quer para a indústria dos videojogos como para o cinema. Para já o facto de nos filmes a realização dos gráficos se fazer em pós-produção, permite que a complexidade dos mesmos possa ser sempre superior à dos videojogos e outras aplicações em tempo-real como a Cenografia Virtual. Espera-se que essa diferença seja ultrapassada e que aquilo que hoje vemos em tempo-real seja semelhante aos gráficos com *pós-render*. Vão-se descobrindo cada vez mais maneiras de tornar a CGI realista, e é cada vez mais difícil distinguir a realidade de

um ambiente virtual, não só para os ambientes em geral, mas também para seres humanos e animais virtuais animados realisticamente.



Fig. 141 - Projecto CGI fotorealista da Image Metrics sobre a actriz Emily O'Brien (*technabob*, 2008)

B.3 REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA – MARCOS IMPORTANTES

Durante os anos 80 e 90 a Realidade Virtual foi considerada como uma nova e emergente aplicação que prometia revolucionar os interfaces interactivos entre o homem e o computador. Mas na realidade a RV é quase tão antiga quanto a computação gráfica.

Em 1956, Morton Heilig projectou as primeiras experiências virtuais multisensoriais. Patenteado em 1961 o Sensorama, assemelhava-se a uma máquina de jogos de arcade. O aparelho funcionava como um pequeno teatro/cabine para apenas um utilizador, onde durante 15 minutos o espectador podia experimentar filmes de dois minutos em 3D colorido complementados com sensações de som estéreo, vibrações mecânicas, aromas e ar movimentado por ventiladores. As “experiências” incluíam uma viagem de mota em Nova Iorque, uma viagem de bicicleta, uma viagem num todo terreno no deserto, uma viagem de helicóptero e uma dança por uma dançarina do ventre. Toda a experiência era previamente preparada (ver Fig. 142). Heilig também patenteou uma ideia para um dispositivo que muitos consideram como o primeiro *Head Mounted Display* (HMD). A ideia foi proposta em 1960 e aplicada e patenteada em 1962. Foi utilizado

largamente no campo da óptica para a visualização de slides fotográficos em 3D, tinha som estéreo e um gerador de odor. Heilig chegou a propor a realização de uma experiência total através da ideia de um teatro imersivo que permitia a projecção de imagens tridimensionais sem que o espectador tivesse de usar óculos especiais ou outros dispositivos. A audiência estaria sentada em assentos que se moveriam em função da história que estivesse a ser projectada e esses movimentos acompanhariam o som esteriográfico. Os cheiros seriam injectados através do sistema de ar condicionado. Este projecto nunca chegou a ser construído (Carlson 2003, *section 17*).

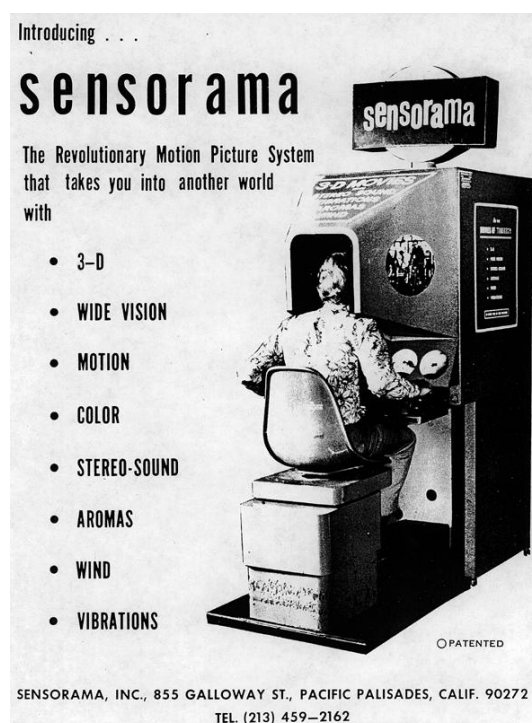


Fig. 142 - O Sensorama, inventado por Morton Heilig em 1961.

Comeau e Bryan, da Philco Corporation, produziram em 1961 aquele que foi considerado o primeiro HMD. O sistema possuía um monitor de raios catódicos único incorporado no capacete e um sistema de *tracking* magnético para determinar a direcção da cabeça. Estes dispositivos contribuíram com ideias para que surgissem novos dispositivos e experiências virtuais, mas ainda não tinham sido integradas imagens geradas por computador (Carlson

2003, *section 17*). Segundo Carlson (*ibid.*), a área que conhecemos hoje como Realidade Virtual, ramo multidisciplinar da computação, emergiu da conjugação entre a investigação de gráficos interactivos tridimensionais e a investigação realizada para a simulação de veículos entre os anos 1960 e 1970.

Considera-se que a primeira abordagem ao conceito e definição de Realidade Virtual, surgiu em 1965 pela mão de Ivan Sutherland, então investigador na Universidade de Utah no (MIT) Instituto de Tecnologia de Massachussetts (EUA) aquando da publicação de "The Ultimate Display", um documento onde teoriza a necessidade de um dispositivo que interagisse totalmente com o utilizador (ver Fig. 143). Neste documento Ivan Sutherland sugere a concepção de um capacete/ecrã que permitisse, por exemplo, a um piloto, ver a paisagem real e as imagens gráficas em sobreimpressão (Carlson 2003, *section 17*).

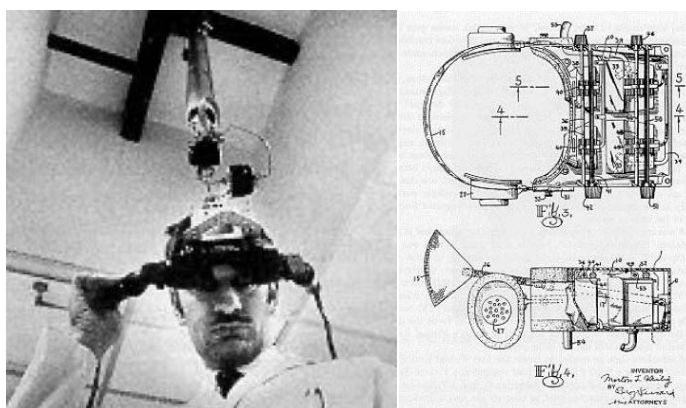


Fig. 143 - "The Ultimate Display," Sutherland, I.E. (*Proceedings of IFIPS Congress 1965 in Carlson 2003, section 17*).

As primeiras contribuições práticas necessárias à execução deste projecto de investigação, foram conduzidas por Larry Roberts e Sutherland, através do desenvolvimento de um CRT (*cathode-ray tube*) a preço acessível, que funcionava como um dispositivo onde podiam ser transmitidas imagens geradas por computador e que possibilitava ao mesmo tempo ao utilizador, uma forma de interagir através da imagem com o objectivo de completar alguma tarefa. Também os estudantes da Universidade de Utah fizeram duas importantes contribuições neste campo, Warnock em 1969 com um sistema de rasterização (*scanline*) e

Watkins em 1970 com um algoritmo para digitalização. As duas levaram ao desenvolvimento de um sistema de *hardware*. Outro dos marcos mais importantes nesta Universidade, foi o desenvolvimento por Gouraud de um sistema de *shading* contínuo em 1971. Ao contrário do *shading* poligonal (representação *standard* da superfície), o esquema de Gouraud envolvia interpolação entre pontos numa superfície para descrever o *shading* contínuo ao longo do polígono, conseguindo uma maior aproximação à realidade. O efeito fazia uma superfície composta de polígonos ter um aspecto contínuo (ver Fig. 144). Esta possibilidade é essencial no processo de geração de imagens visuais de qualidade necessárias para apresentar um ambiente de RV credível (Carlson 2003, *section 17*).



Fig. 144 – Exemplo da técnica de Gouraud *shading standard* com dois pontos de luz (SunXi Screenshots, 2008).

Estes esforços formaram uma parte dos fundamentos necessários à concepção do conceito de ambiente virtual. A outra parte baseou-se no desenvolvimento comercial do HMD de Sutherland, o Ultimate Display. O facto do mesmo ter um sistema de visão esterográfica com um CRT (monitor) para cada olho foi de extrema importância. Estava equipado com um sistema de *tracking* mecânico e mais tarde foi testado com um sistema de *tracking* por ultra-sons. O primeiro HMD (*Head-Mounted-Display*) foi testado em 1970 (ibid.). Explicando as possibilidades do HMD e da computação gráfica aplicada à RV, Sutherland afirma:

[d]on't think of that thing as a screen, think of it as a window, a window through which one looks into a virtual world. The challenge to computer graphics is to make that virtual

world looks real, sounds real, moves and responds to interaction on real time, and even feels real (Ivan Sutherland in Amado, AEP 2007, p.18).

Houve uma grande sinergia e apoio às investigações por parte da indústria e dos governos (a nível civil e militar), o que foi fundamental para a investigação e trabalho desenvolvido nas Universidades. Entre os participantes estiveram a NASA Ames, Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory of the Air Force e a Wright-Patterson Air Force Base. Os projectos de investigação geraram uma corrente de *papers* publicados, documentos técnicos, *software*, filmes animados por computador e *hardware* acessível a investigadores gráficos.

A Bell Helicopter Company contribui substancialmente para o desenvolvimento dos HMDs. O objectivo do projecto era conseguir oferecer uma plataforma de treino para os pilotos de helicóptero aterrarem num terreno difícil mesmo durante a noite. Estas experiências demonstraram as possibilidades de imersão do ser humano num ambiente remoto através dos olhos de uma câmara. Em 1966, Sutherland juntamente com o estudante Robert Sproull, transforma o sistema de realidade remota através de vídeo em Realidade Virtual (projecto da Bell Helicopter) ao substituir as imagens vídeo por imagens geradas por computador (Carlson 2003, *section 17*). Segundo Carlson:

[t]he first such computer environment was no more than a wire-frame room with the cardinal directions--north, south, east, and west--initialed on the walls. The viewer could "enter" the room by way of the "west" door and turn to look out windows in the other three directions. What was then called the head-mounted display later became known as VR (ibid.).

Sutherland delineou diversas formas de gráficos interactivos que mais tarde se tornariam populares, incluindo exemplos de Realidade Aumentada, onde imagens geradas por computador foram sobrepostas a imagens reais para a montagem de uma cena. Ainda de acordo com Sutherland:

[e]ven though VR was impossible at the time, it provided "a reason to go forward and push the technology as hard as you could. Spin-offs from that kind of pursuit are its greatest value (Ivan Sutherland cit. Carlson 2003, *section 17*).

Thomas Furness, cientista na Wright Patterson Air Force Base em Ohio, juntamente com a sua equipa conseguiu finalmente criar através das

possibilidades da Realidade Virtual um *cockpit* virtual. O projecto iniciou-se em 1977, mas só em 1981, se produziram os primeiros resultados práticos (ver Fig.145). Cinco anos mais tarde é criado o Simulador Visual de Sistemas Aéreos Acoplados no Aerospace Medical Research Laboratory Center da Base da Força Aérea de Wright Patterson em Ohio-EUA (Ana, L, n.d.). Em 1989, Furness vem a trabalhar para o Human Interface Technology Laboratory, centro criado para o desenvolvimento de interfaces virtuais. Os seus objectivos assentavam na transformação dos conceitos de ambientes virtuais de forma a poderem ser aplicados em aplicações práticas, consumíveis pelo mercado. As investigações estavam direccionadas para o *hardware* de interface, *software* para ambientes virtuais e para os factores humanos (Carlson 2003, *section 17*).

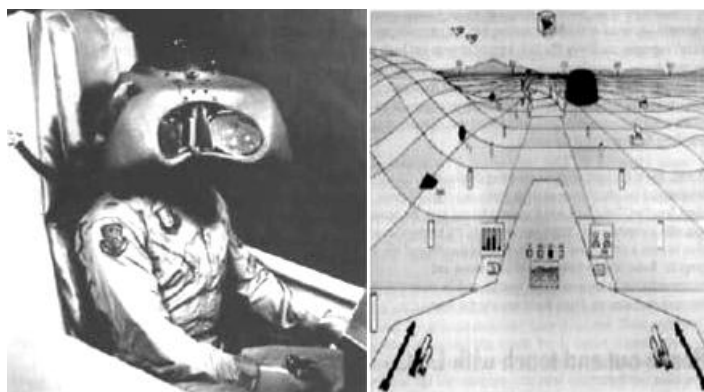


Fig. 145a/145b - Capacete Super Cockpit e visão do usuário com capacete (Remaeh 2009).

Paralelamente outro tipo de projectos desenvolveram-se durante as décadas de 1970 e 1980, tais como o VIDEOPLACE. Myron Krueger, o seu inventor, trabalhou na Universidade do Wisconsin nos finais dos anos 60 e no princípio dos anos 70, investigando a interação dos seres humanos com o computador e as possibilidades artísticas do mesmo. Depois de várias experiências o VIDEOPLACE foi criado (ver Fig. 146). O computador tinha controlo sobre a interacção entre a imagem do participante e os objectos criados graficamente, podendo coordenar os movimentos de um objecto gráfico com o participante. O VIDEOPLACE oferecia mais de 50 composições e interacções

(fractais, pintura com os dedos, desenho digital, *replay*, etc)(Carlson 2003, *section 17*).

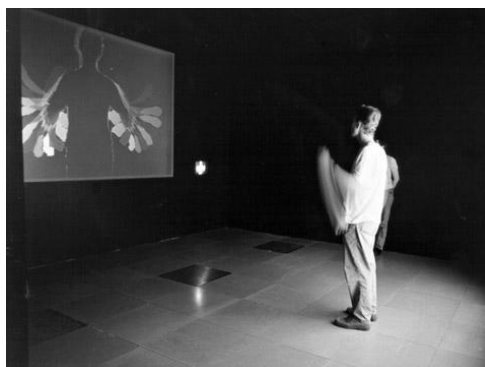


Fig. 146 - Utilizador interagindo no VIDEOPLACE (Levin 2006)

O VIDEOPLACE abriu pela primeira vez ao público em 1976 no Winsconsin, no Centro de Arte de Milwaukee. Na instalação o participante estava de frente para uma tela e era iluminado por detrás de forma a produzir imagens de alto contraste para a câmara colocada à frente da tela de projecção. O objectivo era permitir que o computador distinguisse o participante do cenário de fundo. A imagem do participante era então digitalizada criando uma silhueta que posteriormente era analisada em processadores que analisavam a postura, o movimento e o seu relacionamento com outros objectos gráficos do sistema. O sistema proporcionava uma reacção ao movimento do participante, criando uma série de respostas visuais e auditivas (ver Diagrama 5). Ao mesmo autor deve-se a publicação do famoso livro *Artificial Reality* (escrito em 1983 foi reescrito mais tarde em 1990) (Carlson 2003, *section 17*).

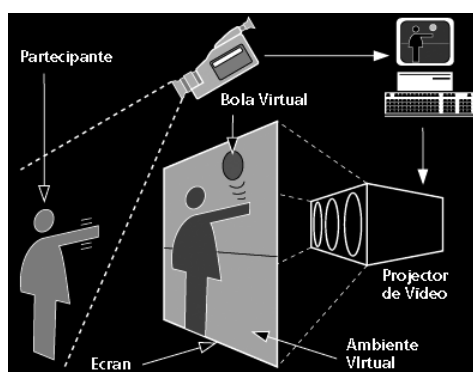


Diagrama 5 – Esquema de funcionamento do VIDEOPLACE (Oliveira, 2007)

Em 1984, Michael McGreevy da NASA-Ames na Califórnia (EUA), cria a primeira *Workstation* para ambientes virtuais (também conhecidas por simuladores pessoais ou sistemas de Realidade Virtual) para trabalhar na investigação de interfaces entre o ser humano e o computador. Jim Humphries, Saim Eriskin e Joe Deardon, projectam e constroem o sistema Virtual Visual Environment Display (VIVED), o primeiro sistema de visão estereoscópica de baixo custo, com um raio de visão abrangente, som estéreo, *tracker* da visão do utilizador e com HMD. Ainda hoje este sistema é reproduzido comercialmente. Em 1985, o VIVED é melhorado permitindo que investigadores, visitantes de outras universidades, a indústria e os militares fizessem as suas pesquisas. A NASA tem contribuído com diversas investigações não só no campo das missões no espaço, mas também para o estudo da dinâmica dos fluidos e da telerobótica (ver Fig.147). Em 1987, a *Scientific American*, evoca o VIVED como sendo um sistema minimal que provou ser possível criar de forma acessível um sistema imersivo (Carlson 2003, *section 17*).

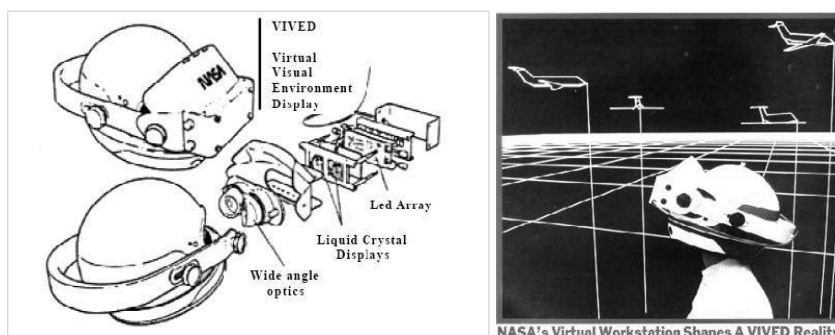


Fig. 147a/147b - VIVED *Virtual Visual Environment Display*, 1984 (Remaeh 2009 & *NASA Virtual Environment Workstation*, n.d.).

Outros dispositivos de interacção para além dos HMD foram desenvolvidos ainda na década de 70. Em 1977 surgem as primeiras luvas com reconhecimento do movimento das mãos as Sayre Gloves desenvolvidas por Tom Defanti e Daniel Sandin. Contudo, as primeiras luvas a terem um grande reconhecimento a nível mundial foram as Grimes' Digital Data Entry Gloves, patenteadas em 1983 pelo Dr. Gary Grimes da Bell Labs. Estas luvas tinham sensores de flexão, sensores de tacto nas pontas, sensores de orientação e

sensores de posicionamento do pulso (ver Fig. 148a). Este modelo foi seguido pela luva óptica, mais tarde VPL Data Glove, de Thomas Zimmerman, que patenteou os sensores ópticos flexíveis (cabos de fibra óptica com sensores). Foi a primeira luva a estar disponível comercialmente apesar do preço extremamente elevado. A DATA Glove (ver Fig. 148b) exigia uma recalibração para cada utilizador, este e o facto de ter uma utilização cansativa fez com que o modelo não tivesse uma penetração no mercado (Carlson 2003, *section 17*).

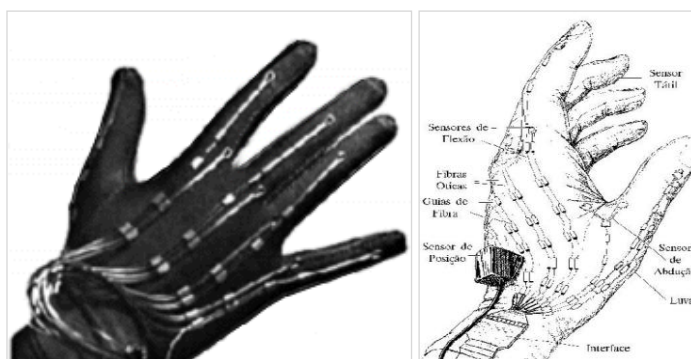


Fig. 148a/148b - Grimes Digital Data Entry Gloves e Data Glove de Thomas Zimmerman (Carlson 2003, *section 17* & Remaeh 2009)

Outras linhas de investigação como a desenvolvida pela Universidade da Carolina do Norte em Chapel Hill, optam por extender o novo conceito à bioquímica e à medicina (ver Fig. 149). Em 1970, Frederick Brooks foi designado como investigador de gráficos moleculares no NIH Research Resource in Molecular Graphics, com o objectivo de desenvolver tecnologicamente mundos virtuais para ajudar bioquímicos e biólogos moleculares a visualizar e a compreender os seus modelos e dados. Durante os anos 90, a UNC (University of North Carolina) trabalhou com patrocinadores como a Hewlett Packard para desenvolver novas arquitecturas incorporando gráficos 3D e capacidades de *rendering* volumétrico em computadores pessoais (esta tecnologia acabou por não ser comercializada). Várias entidades envolveram-se no desenvolvimento de sistemas capazes de renderizar milhões de polígonos por segundo e foi produzido diverso *software* para modelar matematicamente moléculas, anatomia humana e arquitectura (ibid.).

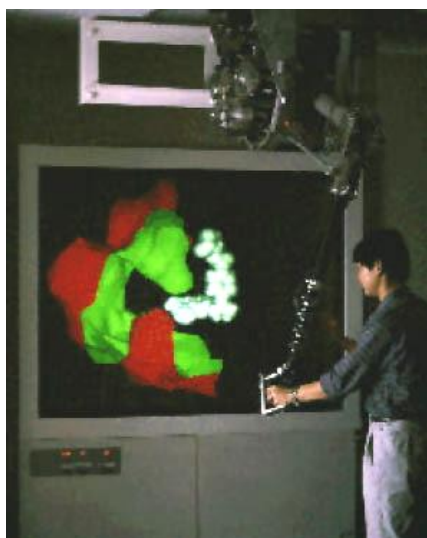


Fig. 149 - Experiências conduzidas na UNC - University of North Carolina em Chapel Hill (Carlson 2003, *section 5*)

Em 1979 F.H. Raab e outros desenharam aquilo que viria estar por detrás da tecnologia de *tracking* mais conhecida nos sistemas de *tracking* para RV – o Polhemus. Um *tracking* de posição electromagnético com 6 graus de liberdade baseado na aplicação de campos electromagnéticos ortogonais. Este sistema foi fortemente apoiado pela Air Force no início dos anos 70 pelas suas possibilidades a nível de treino militar. Mais tarde Ernie Blood engenheiro e Jack Scully vendedor, trabalham os dois no desenvolvimento do sistema Polhemus sendo responsáveis pela digitalizadora 3D utilizada por George Lucas na série StarWars, garantindo um óscar da Academia para a tecnologia (Carlson 2003, *section 17*).

Através da empresa Ascension (fundada em 1986) Blood e Scully desenvolveram e comercializaram as possibilidades dos sistemas de Realidade Virtual. A Ascension trabalhou em diversos segmentos do mercado, incluindo a animação, tendo o seu trabalho com o produto Flock of the Birds contribuído para o desenvolvimento dos sensores aplicados para captar o movimento dos actores que animam os personagens 3D. As suas tecnologias têm sido utilizadas para animar centenas de personagens em espectáculos televisivos, anúncios, videojogos e filmes. Os seus produtos servem seis mercados, animação, *medical imaging*, biomecânica, realidade virtual e simulação e treino de militares a partir da

base (ver Fig. 150). Fornecem material essencial para sistemas de *motion capture* para animação e soluções de *tracking* para que fabricantes de equipamento possam integrar nos seus produtos (Carlson 2003, *section 17*).



Fig. 150 - Sistemas de *tracking* Polhemus FASTrak and VISIONTrak (Carlson 2003, *section 17*).

O sistema óptico “Large Expanse, Extra Perspective” (LEEP) foi desenvolvido por Eric Howlet em 1979 e forneceu a base para a maior parte dos capacetes para RV disponíveis hoje em dia (ver Fig. 151). O sistema permite ter uma vista estereoscópica muito abrangente, levando os seus utilizadores a ficar impressionados com a sensação de profundidade da cena e com o realismo conseguido. Ele comporta diferentes tecnologias como o *tracker* Polhemus, som *audio* 3D (3D *audio output*), reconhecimento do tacto utilizando as Data Gloves da VPL (Visual Programming Language), uma câmara remota, e um monitor CRT montado com o sistema BOOM⁷⁵ (Carlson 2003, *section 17*).

⁷⁵ BOOM – Binocular Omni-Orientation Monitor)



Fig. 151 - Eric Howlett com o LEEP video System I (Howlett, E 1990).

O conceito para a concepção de um espaço com gráficos projectados por detrás das paredes foi inventado pelo Electronic Visualization Lab (EVL) na Universidade de Illinois Chicago Circle em 1992. As imagens nas paredes são transmitidas em estéreo para provocar a sensação de profundidade. A vantagem sobre os outros sistemas é que as imagens estão no campo de visão dos utilizadores. Este ambiente foi apelidado de CAVE – *Automatic Virtual Environment*. O primeiro ambiente e conceito de CAVE foi criado por Carolina Cruz-Neira, Dan Sandin e Tom DeFanti, juntamente com outros estudantes e pessoal do EVL. O CAVE é um sistema de RV baseado em projecção de imagem e som em *surround*. A ilusão de imersão é provocada projectando imagens 3D num cubo composto por telas de projecção que envolvem completamente o utilizador. Está equipado com sistemas de *tracking* da cabeça e das mãos do utilizador para produzir a perspectiva estéreo correcta e para isolar a posição e orientação do dispositivo 3D. Um sistema de som fornece o *feed-back* auditivo (ver Fig. 152). O utilizador explora o ambiente virtual movendo-se dentro do cubo e apanhando os objectos com um dispositivo com 3 botões que controla as suas decisões. Não é necessário utilizar capacetes para experimentar a sensação de RV, tornando-se

apenas essencial a utilização de óculos 3D estereoscópicos (Carlson 2003, *section 17*).



Fig. 152a/152b - CAVE – Automatic Virtual Environment, 1992, desenvolvido por Carolina Cruz-Neira, Dan Sandin e Tom DeFanti (Wenhardt 2008).

O CAVE foi desenvolvido como uma ferramenta científica utilitária para visualização científica. O objectivo da EVL era ajudar cientistas a fazerem as suas descobertas mais rápida e eficazmente, por essa razão a CAVE foi concebida de forma a poder trabalhar remotamente com dados vindos de super computadores e instrumentos científicos através de redes ultra rápidas (*high-speed networks*). O sistema permite a sua utilização por diversos utilizadores simultaneamente e como tal ver imagens em conjunto. Por sua vez, o facto dos utilizadores verem as suas próprias mãos e pés como parte do ambiente virtual, promove o sentimento de que estão num mundo virtual, igualmente, torna-se mais fácil misturar objectos reais e virtuais no mesmo ambiente. Hoje em dia existem vários ambientes CAVE por todo o mundo, sendo o VR Cube do Centro de Computadores Paralelos do Royal Institute of Technology em Estocolmo na Suécia o primeiro sistema CAVE completamente imersivo (ibid.).

B.4 EVOLUÇÃO DA TELEVISÃO

A televisão surge na história dos média como um marco histórico que revolucionou por completo a maneira como a informação chega até nós. Ao longo dos anos tem vindo a cativar audiências, sendo um meio de comunicação que rapidamente se destacou dos outros pelas suas possibilidades. A televisão, a

que alguns dão o nome de “janela aberta para o mundo”, tem vindo a tornar-se cada vez mais complexa, intervindo activamente na sociedade a nível mundial.

A origem da palavra televisão remonta a 1900, quando um livreiro francês, Constantin Persky, na necessidade de catalogar documentos relativos à transmissão electrónica de imagens, cria a palavra *télévision* a partir do grego *tele* e do francês *vision* para significar ver ao longe⁷⁶. Perskyi apresentou uma tese com o título “Televisão” no Congresso Internacional de Electricidade em Paris, descrevendo um equipamento baseado nas propriedades fotocondutoras do selênio, e das suas possibilidades na transmissão de imagens à distância. Em 1906, Arbwhnett desenvolveu o sistema de televisão por raios catódicos, que empregava a exploração mecânica de espelhos adicionada ao tubo de raios catódicos. O mesmo seria feito na Rússia, por Boris Rosing. Outras designações foram utilizadas, *distant electric vision*, *seeing by wireless* e *visual radio*, mas em 1907 o termo televisão fica definitivamente adoptado depois da sua utilização pela revista *Scientific American* (Polainas 1998, p.18)).

Em 1920, John Logie Baird consegue através do sistema mecânico baseado no invento de Nipkow realizar as primeiras verdadeiras transmissões (ver Fig. 153). Quatro anos mais tarde, em 1924, Baird transmite contornos de objectos e no ano seguinte fisionomias de pessoas. Em 1926, faz a primeira demonstração à comunidade científica no *Royal Institution* em Londres, assinando um contrato com a BBC para transmissões experimentais. Na altura o padrão de definição possuía 30 linhas e era mecânico (*A História da Televisão: da sua invenção ao início das transmissões a cores*, © Magia Comunicações 1998 – 2010).

A nova descoberta tecnológica vem a desenvolver-se depois da Primeira Grande Guerra, com o apoio da *British Broadcasting Corporation*, ainda hoje uma das principais impulsionadoras para o avanço da tecnologia, através de uma evolução do primeiro emissor/receptor criado por Baird. Esforços

⁷⁶ A partir de 1913 o termo televisão passa a ser o termo científico para designar “conjunto dos procedimentos e das técnicas que permitem a transmissão de imagens após transformação em ondas hertzianas”.

semelhantes são desenvolvidos pela empresa *General Electric* – GE, levando ao aperfeiçoamento da técnica nos Estados Unidos (Polainas 1998, p.20).



Fig. 153 - John Baird, invento utilizado na sua demonstração ao *Royal Institution* (Birkmaier 2008).

Em Março de 1935, a Alemanha, é o primeiro país a oferecer um serviço de televisão pública, adoptando um padrão de definição de 180 linhas com 25 quadros por segundo. O sistema original mecânico de *Baird* é transformado num sistema electrónico em apenas três anos dando-se início à era da televisão electrónica. Ainda em 1935, também a França começa a transmitir, tendo como posto emissor a Torre Eiffel. Três anos depois este posto emite uma média de 15 horas semanais de programação (*A História da Televisão: da sua invenção ao início das transmissões a cores*, © Magia Comunicações 1998 – 2010 & Ruivo, M 2006, p.5).

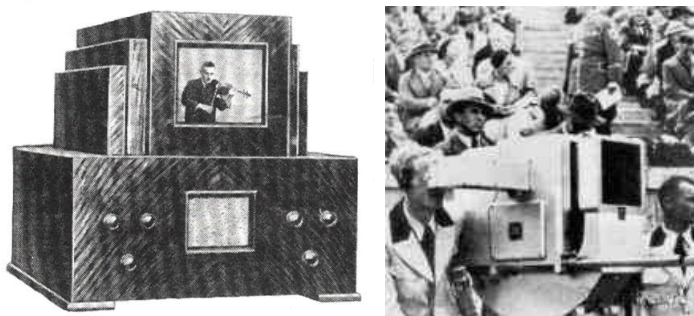


Fig. 154a/154b – a) Televisor electrónico de 180 linhas, D. S. Loewe, 1935; b) Câmara televisiva de 1936 (*Television History - The First 75 Years*, 2001-2009 © TVhistory.TV & *A História da Televisão: da sua invenção ao início das transmissões a cores*, © MAGIA Comunicações 1998 – 2010).

Em 1936, inaugura-se a estação regular da BBC com as primeiras emissões a fazerem-se com uma resolução de 240 linhas. Em três meses a estação passa a transmitir as suas imagens com uma definição de 405 linhas. Na Rússia, as transmissões regulares começam a fazer-se a partir de 1938 e nos Estados Unidos em 1939. A National Broadcasting Company (NBC) transmitia, inicialmente para cerca de 400 aparelhos na cidade de Nova Iorque. As emissões faziam-se com uma resolução de 340 linhas a trinta quadros por segundo. Este país absorveu o novo meio de comunicação melhor do que qualquer outro país, sustentando a programação com anúncios e patrocínios. Em 1945, na RCA (Radio Corporation of America), Lworykin produz o primeiro tubo de televisão, o Orticon (ver Fig. 155), produzido industrialmente a partir desse ano (*A História da Televisão: da sua invenção ao início das transmissões a cores*, © Magia Comunicações 1998 – 2010).

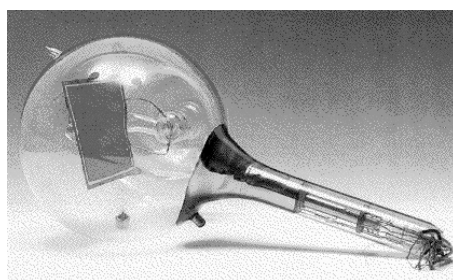


Fig. 155 - Orticon (1945), iconoscópio (*A História da Televisão: da sua invenção ao início das transmissões a cores*, © Magia Comunicações 1998 – 2010).

Os progressos técnicos são interrompidos pela 2ª Guerra mundial, retomando a sua evolução de uma forma extraordinária no final dos anos 1950, altura em que a palavra “televisão” passa a ser uma denominação comum. Durante o período da 2ª Guerra Mundial a Alemanha foi a única estação a manter as suas emissões. Em França recomeçaram em 1944, na Rússia em 1945 e em Inglaterra apenas em 1946. Todos os países progrediram rapidamente e em 1950, a França possuía uma emissora com definição de 819 linhas, a Inglaterra com 405 linhas, os russos com 625 linhas e Estados Unidos e Japão com 525 linhas (*A*

História da Televisão: da sua invenção ao início das transmissões a cores, © Magia Comunicações 1998 – 2010).



© 2004 TVhistory.TV

Fig. 156 - Modelo RCA, 12" Model 2T51, EUA, 1950 (*Television History - The First 75 Years*, 2001-2009 © TVhistory.TV).

Na realidade, é em meados do século XX que a televisão começa a chegar a todos, produtores de cinema e responsáveis pelos teatros temem ser substituídos por este novo meio audiovisual que rapidamente penetrou nas casas dos seus espectadores. Em menos de 10 anos, a televisão transformou-se num meio de comunicação para as massas, com um importante papel de intervenção social e político. Em 1960, quando J.F.Kennedy é eleito presidente dos E.U.A., é atribuída uma grande importância às suas prestações televisivas e ao modo como estas influenciaram o resultado (Ruivo 2006, p.5).

As transmissões regulares a cores começaram em 1954 nos Estados Unidos, mas os primeiros desenvolvimentos nesse sentido iniciaram-se em 1929, no mesmo país, pela mão de Hebert Eugene Ives que realizou a transmissão das primeiras imagens a cores com 50 linhas de definição por fio. Mais tarde em 1940, Peter Goldmarck aperfeiçoando o sistema mecânico consegue uma transmissão com 343 linhas. Mas esta realidade implicava mudanças nos dispositivos de recepção, e os televisores a preto e branco já se encontravam um pouco por todo o lado. Para resolver o problema da adaptação dos televisores existentes às transmissões a cores é formado um comité especial

nos Estados Unidos, o National Television System Committee (também chamado de National Television Standards Committee). As suas iniciais NTSC, acabaram por dar o nome ao novo sistema de transmissão. Em 1967, a Alemanha resolve alguns problemas do sistema americano e dá à sua variação do sistema o nome de Phase Alternation Line (PAL). Em França surge o sistema SECAM (Séquentielle Couleur à Mémoire), não compatível com o sistema a preto e branco francês (A *História da Televisão: da sua invenção ao início das transmissões a cores*, © Magia Comunicações 1998 – 2010).



Fig. 157 – Anúncio de televisão a cores da RCA, 1965 (*Television History - The First 75 Years*, 2001-2009 © TVhistory.TV).

Em 1975, surge nos EUA a Home Box Office (HBO), inicia-se a era da televisão por cabo. Os espectadores tinham acesso a um canal pago que transmitia apenas filmes. A nova tecnologia fazia-se através de cabos coaxiais substituindo as tradicionais ondas hertzianas que entretanto passaram a ser retransmitidas por satélites. A partir desta altura outros canais temáticos foram aparecendo, abrangendo áreas muito diferentes como o desporto, a informação, a música e os programas infantis (Ruivo 2006, p.5).

Já no final do séc. XX inicia-se a era da televisão digital. Imagens e sons são controlados digitalmente em *workstations*, tornando acessíveis por pedido, imagens, sons, gráficos, textos, no televisor de cada um. Surgem os leitores de DVDs e CD-roms. Em 1994 surge nos EUA o conceito de interactividade

associado à televisão digital por satélite, abrindo novas perspectivas a este meio de comunicação. Muitas das funções e serviços que apenas estavam disponíveis num computador passam a estar disponíveis através da televisão. O século XXI traz-nos uma mudança ainda mais radical, a partir daqui é o espectador que escolhe o que quer ver e a hora a que vai ver, as *happy hours* são controladas pela disponibilidade dos utilizadores para se sentarem à frente de um televisor a ver os seus programas favoritos (Ruivo 2006, p.6).



Fig. 158 – Fornecedores de Televisão por cabo ou por satélite instalam plataformas controladas por telecomandos que permitem aos espectadores: gravar; parar emissões em directo; retomar a visualização noutra altura; consultar a programação dos diferentes canais entre outras funcionalidades (meo-Funcionalidades, PT © 2010).

APÊNDICE C. Contributos para o desenvolvimento da Tecnologia No Estrangeiro

O caminho da investigação para o desenvolvimento da Cenografia Virtual tem sido percorrido por diversas entidades e instituições, nomeadamente Universidades, Centros de Investigação e sobretudo pelos departamentos de Research & Development das próprias empresas de *broadcasting* como a BBC – British Broadcasting Corporation e a NHK - Nippon Hōsō Kyōkai, Japan Broadcasting Corporation.

Ao longo dos anos a BBC tem vindo a participar activamente no desenvolvimento das diferentes tecnologias aplicadas na indústria televisiva. Com o programa Production Magic, a BBC R & D propôs-se a investigar as aplicações de análise de imagem, da visão computacional⁷⁷ e das tecnologias de *tracking*. Estas aplicações abrangem a inclusão de elementos 3D sintéticos em produções televisivas, e técnicas de extracção de informação 3D a partir de imagem, de forma a assistir ao processo produtivo ou no sentido de criar novas formas de conteúdos.

Para além dos projectos que auxiliam nas necessidades de produção imediatas, também se dedicam a projectos a longo prazo que visam a possibilidade de mudar radicalmente a maneira como os programas serão realizados no futuro. O trabalho da Production Magic é na realidade, o sucessor do trabalho que já havia sido desenvolvido para a produção virtual da BBC, nomeadamente para a geração de cenários virtuais com *render* em tempo-real, com um sincronismo do movimento da câmara real e virtual. O trabalho desenvolvido pela Production Magic na BBC R & D é liderado por Graham Thomas (BBC Research - Production Magic, BBC © MMX).

⁷⁷ Visão computacional é a área da ciência que se dedica a desenvolver teorias e métodos de extracção automática de informações úteis em imagens, de forma o mais semelhante possível à realizada pelo ser humano no seu complexo sistema visual.

Projectos passados incluem o *Truematte*, técnica que elimina a necessidade de um fundo azul ou verde para a aquisição de um bom chroma (ver Fig. 159); o projecto Prometheus na criação de novas maneiras de produzir e distribuir e apresentar televisão 3D; Piero, um sistema para gerar vistas virtuais em eventos desportivos com adição de gráficos; o projecto Origami, que desenvolveu a captura de modelos 3D a partir da acção passada em estúdio, uma ferramenta para que o realizador pudesse visualizar em tempo-real no estúdio a cena real e virtual compósita, um modelo de *feed-back* para os actores e um detector de colisão entre o actor e o mundo virtual; MixTV que utiliza *tracking* de marcadores ópticos para que os actores possam interagir com objectos virtuais; o projecto MetaVision patrocinado pelos U.E., que visou a aquisição de informação adicional de dados de profundidade e captação de um maior número de imagens por segundo (*high frame rate images*) para assistir na pós-produção e o projecto MATRIS também patrocinado pela U.E. e cujo objectivo era desenvolver e implementar um sistema para determinar a posição, orientação e distância focal da câmara em tempo-real, pela análise das imagens captadas e exploração de sensores não obstrusivos de movimento inercial. Estes entre outros projectos estão neste momento a ser utilizados mundialmente como plataforma para novas investigações ou nos próprios estúdios virtuais (BBC Research - Production Magic, BBC © MMX).



Fig. 159a/159b - Estúdio virtual com tecido retro-reflector e câmara equipada com um anel de LED's. A luz emitida pelo anel luminoso possibilita a obtenção de uma boa imagem da acção em estúdio por contraste com o tecido retro-reflector *Truematte* (Grau 2002).

O novo projecto Virtual View, surge como uma continuação do projecto Origami e desenvolve a reconstrução 3D e realização de *renderings* realistas da acção em estúdio para obtenção de sombras, reflexos e oclusões realistas, entre outras aplicações. Para além deste projecto, a BBC R & D está actualmente a desenvolver outros projectos, por vezes com o apoio da UE: iView, my e-director 2012, Surround Video, Virtual Steadicam, Virtual view e VSAR.

O Science & Technical Research Laboratories da NHK, estabeleceu-se em 1930 e tem desde então promovido investigação e desenvolvimento relacionado com avanços em todo o campo da tecnologia de *broadcasting*, fazendo investigações em Hi-vision (HDTV), em *broadcasting* por satélite, televisões com ecrãs planos e em *broadcasting* digital. Entre os seus projectos está a criação de uma televisão hiper-realista, na forma de um sistema de *broadcast* que permita aos espectadores sentirem-se imersos no local que está a ser transmitido e sentirem os objectos presencialmente. O projecto chama-se Super Hi-Vision (SHV), um sistema de televisão com 4000 *scanning lines* (linhas de varredura) e com um sistema de som *surround* por multi-canais 22.2.. Outro projecto visa a criação de emissões de televisão em 3D proporcionando uma sensação de presença extrema. Este projecto procura inventar um sistema capaz de filmar em tempo-real, apresentando como resultado imagens naturalmente autoesterioscópicas que possam ser visionadas sem óculos especiais. A NHK Research, é também responsável pela criação de uma câmara ultra rápida e de alta sensibilidade, com a capacidade de captar 1 milhão de *frames* por segundo. No que respeito ao desenvolvimento do estúdio virtual, o gabinete de R & D têm por objectivo conseguir uma composição mais natural de realidades impossíveis de captar. As investigações debruçam-se sobre um método de monitorização dos dados de localização da câmara necessários para a combinação das imagens CG com as imagens captadas pela câmara. Desenvolveram também um sistema que pode apresentar a reconstrução das imagens dos actores e apresentadores do programa de uma forma que não poderia ser captada por uma câmara real. Outros projectos incluem o Video Retrieval, que tenta restaurar arquivos de filmagens antigas; o Human-friendly Broadcasting, que procura tornar as emissões

mais agradáveis com especial atenção para os mais velhos e para os deficientes; Adapt TV, que procura adaptar-se às circunstâncias e locais onde está inserido; e finalmente os Flexible Displays ou monitores flexíveis que podem ser enrolados e transportados facilmente para qualquer lado (*NHK Science & Technology Research Laboratories*, n.d).



Fig. 160 - Imagem produzida pelo Science & Technical Research Laboratories da NHK (Kawakita et al. 2004)

Na Alemanha várias entidades têm contribuído com investigação nas áreas da Cenografia Virtual, Realidades Virtuais e Aumentadas, nomeadamente o departamento de visão computacional do Centre for Computer Graphics (ZGDV) e o Departamento de Realidade Aumentada e Virtual do Fraunhofer Institute for Computer Graphics, ambos em Darmstadt, a Universidade Bauhaus em Weimar, a Saarland University em Stadtwald, a Universidade de Aachen (RWTH) e a Universidade de Koblenz em Landau.

Nos Estados Unidos, o MIT Media Laboratory desenvolveu sistemas de tracking 3D do corpo humano; o departamento de ciência de computação da Purdue University West Lafayette, uma câmara especial para aquisição de dados de uma cena real. Podemos encontrar projectos para conteúdos educativos que utilizam a tecnologia das realidades aumentadas e virtuais desenvolvidos na Universidade de Tecnologia de Varsóvia na Polónia e na Universidade de Bolonha em Itália. Estes são só alguns exemplos de investigações que têm decorrido nos últimos anos. Como tema emergente na nossa sociedade, um pouco por todo o mundo se desenvolvem projectos desta natureza.

APÊNDICE D. O domínio da técnica do *blue/greenscreen*

Apoiando-nos na experiência de um reputado especialista⁷⁸ na técnica de *blue/greenscreen* e em FX no geral, este apêndice regista alguns dos problemas mais frequentemente encontrados quando se trabalha com a técnica de *chroma* e com estúdios virtuais, e quais os métodos utilizados para controlar esses mesmos problemas.

D.1 DEFINIÇÃO DO *CHROMA-KEY ALPHA* E DA IMAGEM *MATE*

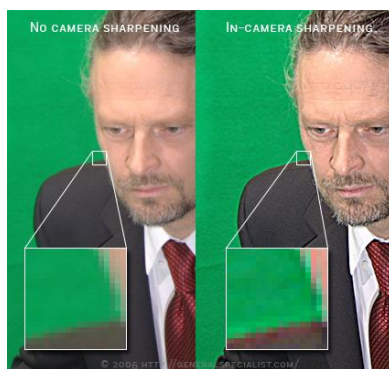


Fig. 161 - As definições de contorno (*shapening*) da própria câmara podem dificultar a realização de um bom *chroma-key* (Hummelstrand 2006).

Segundo Hummelstrand, para obter a melhor definição da linha que separa as duas imagens, *chroma* e *matte*, é essencial que se desliguem todos os sistemas de *sharpening* da própria câmara. Apesar de tornar mais difícil a focagem durante a realização, facilita bastante o trabalho a realizar pelo *keyer*⁷⁹. Por defeito todas as câmaras aplicam o efeito de *sharpening* durante o processo de gravação

⁷⁸ Jonas Hummelstrand é supervisor de FX na televisão sueca Sveriges Television e realiza para a mesma empresa animações 2D e 3D com os programas Maya, 3ds max e Cinema 4D. Trabalha ainda com os programas After Effects, vizRT e viz na pós-produção e *broadcasting* de imagens compósitas em tempo-real.

⁷⁹ Programa de *software* que faz a separação do *foreground* do *background* (*blue/greenscreen*) dando origem ao *matte*.

das *frames* em filme, disco ou cartão de memória. Apesar deste processo fazer com que a imagem tenha muito melhor aspecto torna muito mais difícil de se conseguir uma aresta limpa entre o *foreground* e o fundo *chroma*. Assim, o *sharpening* a ser aplicado, só deve acontecer se houver a oportunidade de trabalhar em pós-produção e directamente sobre a imagem de *foreground* devidamente delineada.

D.2 O MOTION BLUR

Movimentos muito rápidos na produção de programas em tempo-real geralmente têm maus resultados pois não há maneira de se controlar o processo de definição da linha que separa o *chroma* do *foreground* (ver Fig. 162), como tal devem ser evitados em emissões televisivas em directo. Em dependendo do tipo de programa, esta limitação pode mesmo inviabilizar a utilização de cenários virtuais (e.g. concursos com actividades físicas).

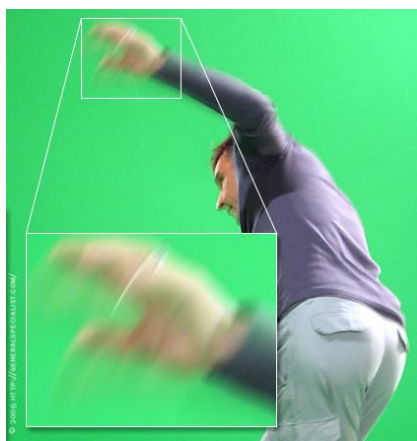


Fig. 162 - Definição de imagens de *foreground* com movimentos rápidos (Hummelstrand 2006).

Na produção de programas com pós-produção é possível encontrar maneiras de produzir o efeito de *motion blur*. Para tal o *background* convém ser o mais uniforme possível e o *foreground* deve ser captado na forma mais definida possível. Se a imagem obtida estiver tremida devido a uma velocidade do *shutter* demasiado lenta ou devido a uma reduzida profundidade de campo, pode-se

ajustar o *keyer* sacrificando possivelmente outras partes para se conseguirem manusear as arestas indefinidas. Outra solução que segundo Hummelstrand traz bons resultados, é aumentar a velocidade do *shutter* da câmara. Mais uma vez o *sharpening* da câmara deve ser desligado. Uma aresta indefinida entre o *background* e o *foreground* significa que será necessário encontrar um compromisso entre a aresta e os *settings* que retiram o efeito de *spilling* (ver D.11), inclusive pode levar a que se tenha de compensar *frame a frame* diferentes níveis de *blur* em diferentes partes do filme. Quando se quer obter um efeito de *motion blur* num ambiente de *blue/greenscreen* é preferível aplicar em pós-produção *software* especializado em *motion blur*, acrescentar profundidade de campo adicionando o *background* e fazer o *blur* posteriormente (Hummelstrand 2006).

D.3 RESOLUÇÃO E FRAMING



Fig. 163 - Imagem obtida a partir de uma gravação com a câmara rodada 90° em relação ao plano horizontal convencional (Hummelstrand 2006).

Sempre que possível a gravação das imagens deve ser realizada com a maior resolução possível pois o *keyer* terá mais informação para destacar a *foreground* do fundo *chroma*. Em pós-produção também se torna mais vantajoso

para se ter a certeza que se pode realizar o melhor trabalho na montagem. Para Hummelstrand (2006), para emitir em SD, é preferível captar a imagem em HD ou mesmo em filme de 16 ou 35 mm. Quanto mais detalhes se capturarem, melhor será o *chroma (matte)* criado pelo *keyer*. Pode-se sempre reduzir a dimensão da imagem, mas não é possível ir buscar informação que se não capturou.

Utilizam-se diversas técnicas para se conseguir uma maior resolução de imagem captada em estúdio, uma delas é rodar 90° a câmara quando apenas se pretende obter uma imagem vertical do *foreground* (mais fácil de aplicar em pós-produção) (ver Fig. 163). É também muito importante nunca sacrificar a resolução horizontal das *frames* pois a definição da linha encontrada pelo *keyer* perderá qualidade (Hummelstrand 2006).

D.4 A ESCOLHA DO *BLUE* OU *GREENSCREEN*

A escolha do azul ou verde como fundo *chroma* deve-se sobretudo ao facto das tonalidades da pele humana e dos lábios terem tendência para o vermelho, deixando o verde e o azul para lhe fazerem contraste. A escolha entre um e outro depende de vários factores.

Os cicloramas verdes têm-se tornado cada vez mais populares nos últimos anos porque o verde proporciona um canal de cor mais luminoso e tende a ter menos interferências do que o canal azul. No entanto o brilho relativo do verde faz dele uma má escolha para filmar cabelos loiros e grisalhos, muito mais fáceis de definir contra um ciclorama azul. Sempre que se torna impossível evitar ou eliminar o problema de "*spill*" que acontece sempre que aproximamos demasiado o *foreground* do material de *chroma*, o azul toma vantagem sobre o verde, pois é menos perturbador o *spill* provocado pelo azul do que pelo verde. Por exemplo, quando se captam imagens reais que se pretendem inserir em ambientes exteriores ou com água, um pouco de azul acaba por não perturbar a imagem compósita final (Hummelstrand 2006).

D.5 PRÉ-PREPARAÇÃO DA CENA



Fig. 164a/164b - A introdução de objectos com que os actores possam interagir facilita o processo de encenação. A existência de um *storyboard* beneficia todos os intervenientes (Hummelstrand 2006).

De acordo com Hummelstrand (2006), a construção de um *story board* que possa ser estudado por todos os intervenientes no processo, é essencial para que se compreenda qual o resultado final desejado pelo realizador do programa. Este deve poder ser consultado antes das filmagens e durante o período das gravações. No caso de se tratarem de gravações para pós-produção, é importante que o operador de câmara saiba exactamente o que vai acontecer às imagens nessa fase.

Quando actores e apresentadores têm de olhar para alguma coisa dentro do estúdio é preferível introduzir algum objecto com o qual os intervenientes possam ter algum contacto visual. Se o actor não tiver uma referência visual, acaba por se notar quebrando-se a ilusão. No trabalho de pós-produção retira-se facilmente o elemento introduzido, já em tempo-real nem sempre é possível aplicar este tipo de artifícios. Segundo Hummelstrand (2006) nunca se deve depender da imaginação dos actores para se conseguir obter um bom resultado.

D.6 ACTORES, APRESENTADORES E JORNALISTAS

Apresentadores, actores e jornalistas passam a ter que se preocupar com o seu posicionamento no espaço do estúdio, e até a ensaiarem os seus movimentos como actores que desempenham uma personagem. A

adaptação dos estúdios a este tipo de tecnologia, ao exigir um complexo processo de preparação, implica um forte conhecimento e domínio do mesmo por parte dos profissionais televisivos. Os detalhes assumem um papel importante na qualidade do resultado final, não havendo espaço para a improvisação, tudo tem de ser rigorosamente planeado, antes da realização do directo. Cenário físico, enquadramento, iluminação, controlo das câmaras, interacção entre elementos reais e virtuais, esquema de realização, tudo é cuidadosamente pré-definido. Para o jornalista e apresentador José Alberto Carvalho: '[e]sta tecnologia exige um ensaio das situações concretas, dos movimentos, dos passos, da situação real que vai ser transmitida naquele espaço, para não quebrar a magia e a ilusão do espaço virtual (José Alberto Carvalho cit. Silveiro 2006)'

Cubillo (2008) refere que muitos dos profissionais do meio já estão familiarizados com as limitações desde a fase de projectação do cenário virtual e estão conscientes das possibilidades de interacção, contudo a realização de ensaios e a articulação de estratégias que facilitem a navegabilidade do apresentador no cenário virtual são a chave para que tudo corra bem. Quando se trabalha com convidados especiais essas condições podem não estar reunidas, não havendo tempo necessário para explicar em profundidade o funcionamento do sistema e proceder a ensaios. É fundamental que nesses casos se simplifique ao máximo a mecânica, facilitando-se o mais possível a orientação dentro do ambiente virtual.

D.7 O PAPEL DAS ROUPAS E DOS ADEREÇOS

Quando se trabalha com o *greenscreen* é importante evitar a utilização de roupas ou adereços verdes, castanhos ou caqui. Com o *bluescreen* o maior problema surge com os *jeans* e as roupas azuis. É algo que tem sempre de ser pensado com antecedência, é muito importante arranjar sempre os adereços certos com contornos bem definidos. É também importante que os mesmos tenham pouco ou nenhum brilho para se conseguir uma boa definição do *chroma*. No exemplo da fig. 165a a escolha de uma mala brilhante obrigou a que se fizesse em pós-produção um processo rotoscópico em volta do objecto para se conseguir

definir a linha de *chroma*, uma vez que esta se tornou impossível de identificar pelo *keyer*. Em tempo real este tipo de objectos não podem ser utilizados.



Fig. 165a/165b - A utilização de objectos brilhantes na realização de programas com *blue/greenscreen* obriga à execução de um trabalho rotoscópico sobre os mesmos, visto que o programa de *software*, o *keyer*, não consegue definir a linha que separa o *chroma* do *foreground* (Hummelstrand 2006).

D.8 ILUMINAÇÃO VIRTUAL E REAL COMPATÍVEL

Apesar de quase tudo poder ser alterado em pós-produção, o *set* de luz utilizado em estúdio deve ser o mais próximo ao utilizado virtualmente. Se tal não acontecer o resultado é particularmente notado e torna a imagem bastante falsa e desagradável perdendo-se por completo a ilusão e realismo. É algo impossível de disfarçar em pós-produção.

D.9 PRÉ-VIZUALIZAÇÃO EM ESTÚDIO

A importância de se poder visualizar no estúdio durante os ensaios a imagem real captada com o *background*, ainda que com uma definição inferior à do resultado final, é essencial à produção da melhor perspectiva. O *feed back*

imediatamente é tão importante para o actor como para o realizador. Possíveis erros de perspectiva ou luz por exemplo podem ser corrigidos no momento, evitando a repetição de todo o processo de gravação do programa.

D.10 MARCADORES E BARRAS PARA *TRACKING* POR ANÁLISE DE IMAGEM

Sempre que se realiza o tipo de *tracking* com marcadores ou barras, deve reduzir-se a sua utilização ao número de elementos imprescindível para que a câmara tenha sempre os dados necessários para realizar os cálculos e produzir a imagem sintética. Quanto mais pontos de referência forem utilizados maior é o trabalho a realizar pelo *keyer* que faz a distinção entre o *foreground* e o *background*. A utilização quer de *chroma tape*⁸⁰ como de marcadores permite por vezes que apenas com uma segunda passagem pelo *keyer* todas as marcas sejam eliminadas. Serão sempre necessários tantos mais marcadores quanto maior for o *zoom* necessário a fazer durante a realização do programa (Hummelstrand 2006).

D.11 SPILL

O efeito de *spill* - reflexo do ciclorama sobre as personagens e objectos reais - pode ser evitado mantendo o ciclorama o mais afastado possível do *foreground*, daí a importância da profundidade do estúdio. Quanto mais afastado estiver o *foreground* do *background* menores as probabilidades de acontecer o efeito de *spill*. Outra maneira simples de evitar este problema, é cobrindo com algum material não reflector (tecido negro por exemplo) partes do chão ou outros elementos colocados dentro do estúdio que possam reflectir a cor do *chroma* no *foreground* e que não apareçam na imagem final (ver Fig. 166). Neste caso, o ensaio torna-se de extrema importância para que se possa perceber o que pode ser pré-preparado para melhorar o resultado final evitando *spill* desnecessário.

⁸⁰ A *chroma tape* é um tipo de fita em tecido adesivo verde ou azul com um tom facilmente reconhecível pelo *keyer* e que se aplica sobre o *blue/greenscreen*.

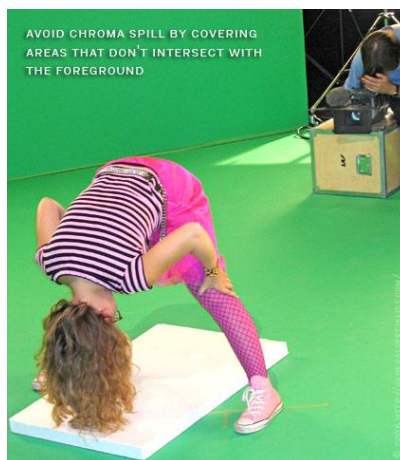


Fig. 166 – Para se evitar o efeito de *spill* cobrem-se zonas que poderão reflectir a cor do *chroma* no *foreground* e que não são captadas pela câmara na imagem final (Hummelstrand 2006).

D.12 LIMPEZA

É essencial manter o ciclorama o mais limpo possível impedindo as pessoas de andarem desnecessariamente sobre o mesmo. Deve-se reduzir os movimentos dos actores e de todos os outros intervenientes ao extritamente necessário.

D.13 CODECS E AMOSTRAS DE COR

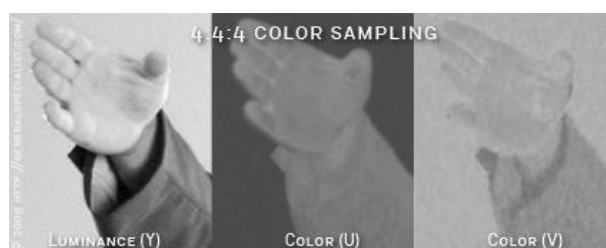


Fig. 167 - Informação recolhida por uma amostra de cor captada a 4:4:4 (Hummelstrand 2006).

É importante perceber como funciona a gravação da cor no vídeo digital de forma a tentar que o mesmo aprobe a maior quantidade de informação de cor possível. Essa informação permitirá a produção de um *matte* de

maior qualidade. O olho humano é muito mais sensível à luminosidade do que à cor que observamos, por essa razão a maior parte da cor capturada pela câmara é descartada à partida na gravação. O problema é que em caso de necessidade de se proceder à separação do *foreground* do fundo *chroma* pelo *keyer*, essa informação passa a ser indispensável para a melhor definição da imagem *matte*. Assim é sempre preferível capturar a imagem 4:4:4 sem compressão da cor e manter a resolução da cor intacta utilizando o *codec* apropriado, pelo menos até se ter realizado o processo de obtenção de *chroma* (Hummelstrand 2006).



Fig. 168 - Informação recolhida por uma amostra de cor captada a 4:1:1 (Hummelstrand 2006).

No caso da utilização de imagens realizadas com filmes DV torna-se bastante mais complicado obter a definição do *matte* pois o *codec* DV só guarda $\frac{1}{4}$ dos dados da cor ao utilizar uma compressão 4:1:1.

Desta breve passagem sobre o trabalho realizado em estúdio virtual, deve reter-se sobretudo que em tempo-real já nada se pode alterar e se correr mal vai ser notado. Em relação ao trabalho em pós-produção, é na fase de pré-produção e produção que se preparam todas as correcções. É um erro pensar que se podem resolver todos os problemas em pós-produção pois o trabalho que pode advir pela correcção *frame a frame*, pode ser totalmente desnecessário se forem tomados determinados cuidados (Cubillo 2008).

APÊNDICE E. Vantagens e Limitações da Tecnologia

Nos últimos anos a indústria do *broadcasting* tem vindo a ser forçada a reestruturar profundamente a sua produção televisiva. A limitação de recursos é uma realidade imposta pela competitividade entre as diversas estações televisivas, tornando os cortes drásticos no orçamento essenciais para a sua sobrevivência. Num mercado de vídeo cada vez mais fragmentado, a pressão faz-se no sentido de que se realizem cada vez mais programas em menos tempo e por menos dinheiro.

Através da integração de elementos físicos em ambientes 3D gerados por computador, os cenários virtuais tornaram-se numa ferramenta poderosa e muito bem recebida pela sua capacidade de criar impacto nos diferentes tipos de programas. A rentabilização rápida do investimento inicial pela utilização do mesmo estúdio/espço em diversas produções, foi de extrema importância para a sua rápida aceitação. Contudo, a sua implementação não tem sido linear. Na procura do foto-realismo, a tecnologia esbarra frequentemente em diversas limitações, de naturezas diferentes. Luz (2005a) enumera alguns dos seus principais problemas:

[n]a maior parte das vezes a preocupação é encontrar a luz adequada para iludir o espectador, no entanto as texturas de alta definição geradas num computador são suprimidas num écran de 720 por 576 linhas. Se os objectos reais ao movimentarem-se diante duma câmara provocam arrastamento, deveria ser possível aplicar efeitos de motion blur aos objectos digitais e simular profundidade de campo através de técnicas já recorrentes na renderização 3D. Uma das limitações mais evidentes é a impossibilidade de gerar sombras projectadas pelos actores no cenário virtual justificando a falta de credibilidade que estes sistemas de cenografia virtual ainda apresentam (Luz 2005a).

Neste apêndice procurámos de forma sistemática apresentar as vantagens e limitações trazidas pela implementação da tecnologia de Cenografia Virtual no meio audiovisual.

E.1 VANTAGENS

- Permite a utilização de cenários elaborados que por serem demasiado complexos de outra forma seriam impossíveis de realizar devido a constrangimentos de espaço e custo. A redução de custos revela-se não tanto na construção de cenários reais, mas sim na poupança em logística necessária para a sua montagem, desmontagem e armazenamento de cenários.
- A economia de recursos técnicos e humanos no mesmo estúdio revela-se também no aumento do número de programas que é possível produzir no mesmo dia em oposição ao conseguido pelos métodos tradicionais. A troca de cenários demora apenas alguns minutos.
- As filmagens podem ser realizadas em estúdios muito pequenos ainda que estas funcionem melhor em estúdios de tamanho médio para que possa haver alguma movimentação dos apresentadores e também para evitar o problema do *spill*.



Fig. 169 – Capacidade de aumentar o espaço do cenário em função do número de convidados (*Virtualset design*, ©1990-2010 Virtualsets.com).

- A tecnologia permite a escalabilidade do cenário em função do número de convidados em *talk-shows* e entrevistas (ver Fig. 169).
- Uma vez construído o modelo 3D do cenário virtual, é possível utilizá-lo de maneiras diferentes. Inclusive é possível mudar a cor das paredes ou dos objectos em tempo-real, o que o torna extremamente flexível.

- O realizador pode saltar de câmara para câmara como faria num cenário real. O resultado da imagem compósita final pode ser visualizada na *regie* e no estúdio pelo realizador, actores e operadores em tempo-real.
- Novas possibilidades no campo da iluminação são introduzidas na execução dos programas, especialmente através da sua manipulação a nível virtual.



Fig. 170 - Os actores e apresentadores podem mover-se dentro do cenário virtual interagindo com os objectos virtuais (*Virtualset design, ©1990-2010 Virtualsets.com*).

- As pessoas podem aparecer em frente, ao lado ou atrás dos objectos virtuais - logos do programa, secretárias, mesas ou outros objectos virtuais (ver Fig. 170).
- Sejam realizados programas para emissão em directo ou com finalização em pós-produção, o mesmo tipo de *software* é utilizado na composição digital e *output* final. A utilização de equipamento adequado permite que sejam utilizados programas de *software* com uma grande penetração no mercado, tais como Final Cut Pro, Avid, After Effects e Premiere. Estes programas são já dominados por uma grande variedade de profissionais em diversas áreas do audiovisual.
- Com o objectivo de aumentar a credibilidade do cenário, o *software* utilizado pode ter a opção de ao fazer *zoom* sobre o *pivot*, provocar um desfoque gradual do cenário virtual em *background* tal como aconteceria com um cenário real (ver Fig. 171).



Fig. 171 - Imagem ilustrativa do software disponibilizado pela *Ultimatte* para aplicação do efeito de desfocado ao fundo tornando assim a imagem composta mais realista (*Ultimatte Corporation*, © 2010 *Ultimatte Corporation*).

- Podem ser inseridos logos e grafismos controlados em tempo-real (totalmente adaptáveis) durante a realização do programa. Estes grafismos podem ser aplicados quer na realização de programas com cenários virtuais como reais (ver Fig. 172).



Fig. 172 - Inserção de grafismos durante a realização de um programa com cenário virtual (*Virtualset design*, ©1990-2010 *Virtualsets.com*)

- Podem ser introduzidas no cenário janelas com imagens de uma qualquer cidade ou local específico. É ainda possível escolher a hora do dia e até as condições atmosféricas da imagem que queremos representar nessa janela.
- É possível recriar cenas orgânicas em estúdio. Folhas e plantas podem mover-se pela acção de uma brisa virtual, algo difícil de conseguir em estúdios e sem recorrer a material extra que não seja *software* específico. Elimina-se a necessidade de adquirir plantas dispendiosas

ou cenários estáticos e é possível introduzir uma luz mais realista e efeitos de ambiente através do controlo digital da imagem. É ainda possível proceder à escolha da estação do ano desejada Inverno, Primavera, Verão ou Outono (ver Fig. 173).

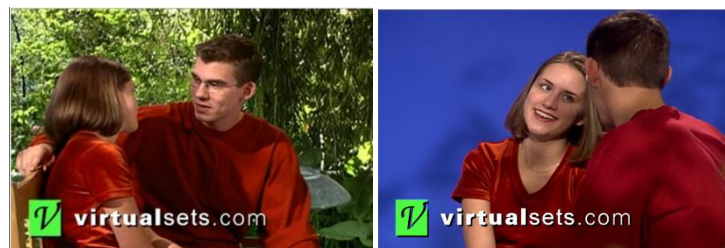


Fig. 173 - Imagem de exterior com fundo orgânico conseguida através de composição digital (Virtualset design,©1990-2010 Virtualsets.com).

- Em poucos minutos é possível simular a imagem de um actor, apresentador ou jornalista, inserido numa imagem captada em qualquer parte do mundo. *Software* específico acrescenta os efeitos especiais necessários a simular o ambiente do cenário escolhido (ver Fig. 174).



Fig. 174 - Utilização das possibilidades da Cenografia Virtual para a criação do efeito de holograma num programa dedicado às eleições norte-americanas (CNN) (Dillon 2008).

- É possível criar uma imagem compósita, onde indivíduos em cidades diferentes aparecem no mesmo cenário virtual como se estivessem lado a lado no mesmo cenário físico. A imagem dos convidados pode ser captada no seu local de trabalho recorrendo a um pequeno ciclorama, iluminação e câmara devidamente preparadas, evitando que a pessoa tenha de se deslocar ao estúdio.
- O *software* e *hardware* utilizados no desenvolvimento da tecnologia são constantemente actualizados pelas empresas que os fornecem por forma a aumentar as possibilidades criativas.

E.2 LIMITAÇÕES

- A maior parte dos estúdios preparados para trabalhar com cenografias virtuais são exclusivos da técnica, especialmente devido às necessidades de calibração dos diversos elementos do estúdio.
- A técnica de *chroma-key* exige um extraordinário cuidado de iluminação, pois a tecnologia só funciona se o ciclorama tiver uma iluminação própria que gere uma cor totalmente uniforme, fazendo com que o sistema de *chroma* reconheça a cor e crie o *Mate*.
- As personagens têm de ter iluminação própria que não interfira com o fundo para não gerar brilhos ou sombras que resultam em problemas de *Mate*.



Fig. 175 - Imagens de um cenário virtual trabalhado com *software* da *Ultimatte*. Esta empresa tornou-se especialmente conhecida pelos desenvolvimentos introduzidos no controlo das sombras dos apresentadores/actores tornando o processo o mais realista possível (Ultimatte Corporation, © 2010 Ultimatte Corporation).

- Torna-se complicado conseguir que as luzes se movam durante a realização de um programa. A necessidade de sincronizar as luzes do cenário virtual com as utilizadas no cenário real pode originar sombras conflitantes quando o processo não é ensaiado previamente.

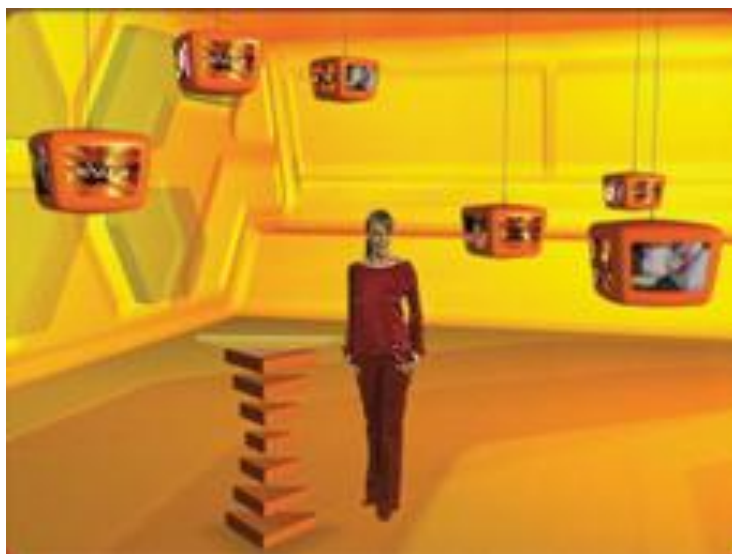


Fig. 176 – Nesta imagem a apresentadora parece “flutuar” no meio do cenário virtual. O realizador pode evitar esta sensação de suspensão pela forma como dirige o programa evitando os planos alargados ou utilizando-se um chão escuro (ORAD: *Mastering VideoGraphics*, 2007).

- Apesar do desenvolvimento da técnica a nível mundial, continua a ser frequente a não integração das sombras dos actores/apresentadores na cena virtual. Neste aspecto a qualidade do resultado final obtido pela aplicação das Cenografias Virtuais *versus* Cenografias Tradicionais, acaba por ser bastante menos cativante para o espectador devido a esta limitação (ver Fig. 176).
- A utilização da roupa e dos adereços fica limitada pela utilização da cor verde ou azul no ciclorama. Não se eliminando a possibilidade da utilização de verdes ou azuis, esta é mais difícil e tem de ser feita com extremo cuidado, apoiando-se sobretudo numa iluminação cuidadosa.

- Os movimentos dos actores/*pivots* ou jornalistas serão bastante limitados se forem utilizados estúdios de dimensões reduzidas.
- A improvisação ao nível do guião, na direcção dos artistas, na iluminação, entre outros, é algo difícil de conseguir quando se trabalha com cenários virtuais.



Fig. 177a/177b - À direita marcadores rectangulares servem para que o apresentador se possa orientar no manuseamento daquilo que serão gráficos 3D na imagem compósita final. Este processo exige sempre um ensaio prévio (Thomas 2007a).

- Em tempo-real os estúdios virtuais mais comuns não têm como dar *feedback* aos actores/apresentadores dos objectos ou personagens virtuais com os quais têm de interagir. O resultado é uma falha na linha de contacto do olhar que geralmente é notada pelo espectador.
- Se se utilizarem sistemas de *tracking* baseados em análise de imagem, não se podem fazer planos apertados (muito fechados) numa personagem ou objecto, porque deixam de ser visíveis linhas da grelha ou marcadores suficientes para extrair os dados de posição das câmaras; de igual modo, se se fizerem movimentos muito rápidos com a câmara, o *motion blur* produzido desfoca a imagem diluindo a grelha ou os marcadores, resultando em novos erros de *tracking*. Se se aumentar o *shutter* da câmara (para valores máximos) para resolver o problema, será necessário maior quantidade e qualidade de luz.
- Mediante o *hardware* disponível variam as limitações para a complexidade do cenário que se consegue aplicar em tempo-real.

Procura-se o melhor compromisso entre as capacidades máximas permitidas e a experiência real. Para se obterem resultados foto-realistas é preciso explorar de forma criativa as ferramentas de 3D.



Fig. 178a/178b – a) personagem CG, Shrek, concebido com cerca de 100.000 polígonos e com texturas extremamente elaboradas; b) um cenário virtual concebido com muito menos polígonos de forma a poder ser renderizado em tempo-real. A título de comparação, no caso de ser utilizado um sistema Cyberset NT da Orad⁸¹, este comporta apenas um máximo de 20 000 polígonos para *render* em tempo-real, no entanto a partir de 15 000 já é possível que surjam problemas durante o *render* (Fiore 2009 & Heo 2009).

- O tempo que o computador leva a processar o cenário virtual origina um *delay* em relação à imagem captada no estúdio real. As duas imagens e o som têm de ser sincronizados por computador de forma a poderem ser emitidos em tempo-real ou gravadas em filme ou disco .
- O *rendering* de um cenário virtual em tempo-real exige capacidades de processamento de dados muito elevadas obrigando na maior parte das vezes a utilizar luz e sombras pré-calculadas. Em tempo-real o cálculo da iluminação pode ser impraticável em termos de processamento.
- Uma imagem obtida por uma câmara real comporta sempre algum grau de distorção introduzido pelas lentes utilizadas na realização de um programa. Na imagem sintética, o *rendering* é calculado de forma a

⁸¹ dados de 2006

minimizar a distorção. No resultado final torna-se bastante perceptível a diferença entre as duas imagens. É importante apercebermo-nos da necessidade de introduzir um efeito de distorção na imagem sintética para que a imagem perca a sua aparência de demasiado “perfeita”.

E.3. NOVOS DESENVOLVIMENTOS DA TÉCNICA DE CV – BBC R & D

De forma mais ou menos completa, as limitações que focámos têm vindo a ser suplantadas um pouco por todo o mundo, ampliando por sua vez as vantagens da aplicação da técnica. São diversos os caminhos procurados pelos gabinetes de pesquisa, sendo que aqueles que obtêm um melhor resultado acabam por ser rapidamente implementados pelas empresas que disponibilizam o material para os estúdios virtuais. O Gabinete de R &D da BBC é uma das entidades mais activas e profíguas, sendo responsável pela introdução de diversos novos desenvolvimentos na técnica de CV. Actualmente o gabinete é liderado por Oliver Grau.

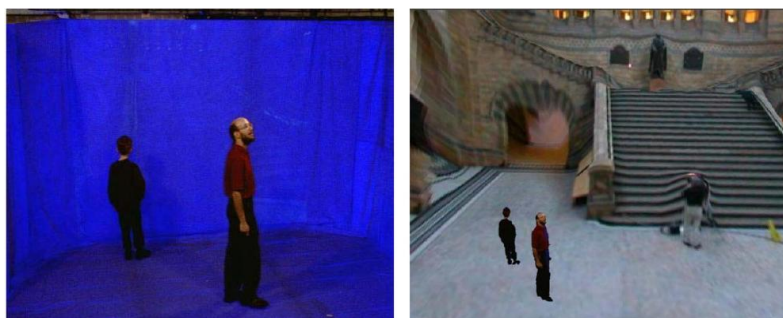


Fig. 179a/179b – a) imagem captada pela câmara no estúdio; b) imagem pré-visualizada em tempo-real pelo realizador durante a gravação do programa (Grau et al. 2003)

Em 2003, propõe um sistema completo para um estúdio virtual a utilizar na concepção de programas com conteúdo 3D. O sistema baseava-se numa abordagem com várias câmaras para capturar cenas dinâmicas dentro de um estúdio com um novo sistema de *chroma-key*. A base deste novo sistema assenta no facto do mesmo permitir a captação

da acção real em estúdio, dados que por sua vez permitem controlar diversos problemas que se põe na utilização de estúdios virtuais. O sistema destinava-se sobretudo ao *broadcast* e à sua utilização em estúdios virtuais, mas também tinha por objectivo beneficiar outras aplicações tais como jogos 3D, aplicações 3D na *internet* e as emissões televisivas estereoscópicas (Grau et al. 2003).

O sistema era excepcionalmente completo e foi dos primeiros a permitir a utilização de ferramentas de visualização para planear a produção e visualização dentro do estúdio real. O realizador podia fazer uma previsão da composição digital final do programa e os actores/apresentadores trabalhavam com um *feedback* imersivo dentro do próprio estúdio (ver Fig. 179 e 180). Este último era conseguido através de uma projecção (realizada em função do campo de visão dos personagens dentro do estúdio) num tecido retro-reflectivo especialmente concebido para funcionar com o *chroma-keyer* e que não interferia com a captação de data para reconstrução 3D das pessoas/objectos no estúdio e dos seus movimentos (ibid.).



Fig. 180 - *Feedback* imersivo para os actores através da utilização de tecido rectro-reflectivo -*Truematte* (Grau 2005).

O *feedback* imersivo resolvia o problema da sensação de vazio que o actor sente quando actua num estúdio virtual onde não existe um cenário real com o qual possa interagir. Acontece frequentemente haver uma diferença na direcção para onde o actor está a olhar e a posição do personagem virtual para o qual ele deveria estar a olhar (problema da linha

do olhar). O mesmo tem um impacto bastante negativo quando o programa é realizado em tempo-real. No caso de se tratar de um programa com pós-produção poderá levar a que o programa tenha de ser gravado novamente (id.ibid).

Este sistema procurava eliminar ou diminuir os problemas dos normais estúdios virtuais para composição de imagens reais com imagens virtuais. Apesar do método de composição de imagens produzido nos estúdios ser eficaz, não existe segundo Grau (2005) um nível suficiente de interacção entre o que é real e o que é virtual. Em 2005, o gabinete de investigação, desenvolve a técnica de combinação de cenas dinâmicas captadas em estúdio com cenas estáticas e dinâmicas geradas por computador ou gravadas em vídeo, na forma verosímil para os espectadores. Contudo este sistema implicava sempre um trabalho de pós-produção.

As principais interacções conseguidas para além das já referidas são uma combinação efectiva da perspectiva da câmara a partir da cena 2D filmada com componentes renderizados virtualmente, o controlo das oclusões, a definição adequada de luzes e sombras dos diferentes componentes da cena e os seus reflexos. Grau (2005) defende a teoria de que o grau de realismo de um programa composto por imagens reais e virtuais depende da qualidade da implementação das interacções ópticas .

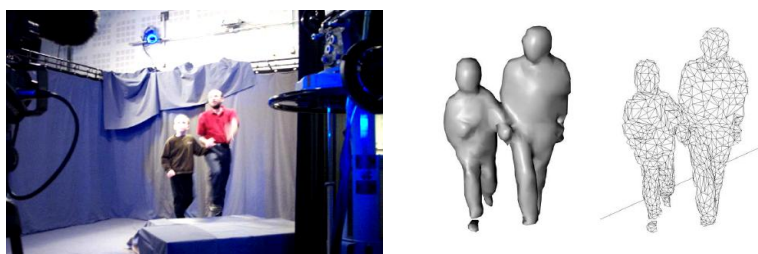


Fig. 181 - Reconstrução 3D da acção captada em estúdio com redução do número de polígonos para processamento do cálculo das sombras sobre o cenário virtual (Grau 2004).

Nos estúdios normais a interacção entre o real e o virtual está geralmente reduzida ao facto da câmara virtual copiar o movimento da câmara real. O cálculo e detecção das sombras não é possível porque a cena no estúdio não é capturada em 3D, mas apenas como uma imagem 2D. As modificações que se podem fazer para alterar este tipo de cena em pós-produção, são bastante limitadas. Também a nível de iluminação e de perspectiva da câmara, tudo é bastante limitado devido a estas circunstâncias. Com este sistema ainda que apenas em pós-produção, é possível gerar uma interacção realista entre os dois mundos virtual e real pela detecção das sombras projectadas pelos elementos reais em estúdio sobre os elementos virtuais. Este processo é aplicado uma vez conseguida através de câmaras de *tracking* e algoritmos de cálculo, a informação suficiente para recriar a acção desenvolvida em estúdio e aplicando os dados ao cenário e personagens 3D com os quais as imagens vão ser fundidas (ver Fig. 181 e 182).

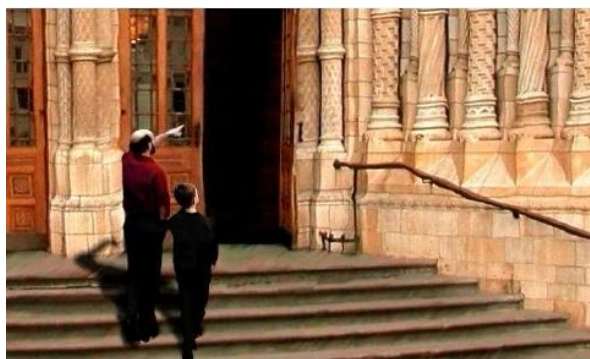


Fig. 182 - Imagem final resultante da aplicação dos dados captados do modelo 3D da acção real para o cálculo das sombras e integração na imagem virtual (Grau 2004).

Mais recentemente, os esforços de investigação têm sido dirigidos para a procura de soluções aplicáveis no novo formato de emissão estereoscópico (3D TV). Através da BBC Production Magic, o projecto iView, desenvolveu um sistema (*free viewpoint*) que permite a captura de acontecimentos utilizando câmaras múltiplas e consequente *replay* interactivo de eventos ao vivo. A reconstrução 3D dos dados

recolhidos por essas câmaras permite ao espectador explorar o tipo de visão *fly around* (ver Fig. 183).



Fig. 183 - Projecto *iView*, a reconstrução da cena em 3D permite ao espectador fazer o *Replay* desejado com o tipo de perspectiva interactiva *fly around* (BBC Research - Production Magic, BBC © MMX).

O projecto *Virtual Viewgeneration*, também desenvolvido pela BBC, surge na sequência do projecto ORIGAMI e utiliza o método de computação *visual hull* (intersecção volumétrica), onde silhuetas 2D são captadas em simultâneo por 12 câmaras para fazer a reconstrução 3D da acção, para captar agora também imagens em espaços exteriores.

O caso específico da BBC demonstra-nos como a tecnologia de CV tem vindo a desenvolver-se a um ritmo bastante rápido, exigindo aos seus profissionais um constante acompanhamento das novas investigações. Por sua vez, a implementação das novas descobertas é essencial na criação de uma dinâmica competitiva entre os diferentes tipos de empresas do meio audiovisual.

APÊNDICE F. Modelos Tridimensionais

F.1 MODELAÇÃO TRIDIMENSIONAL

Os programas de modelação utilizam diferentes formas de modelação na construção de diversos tipos de objectos. Trabalhando com polígonos, ou *splines*, os diferentes *softwares* estão preparados com um elevado número de ferramentas que permitem construir todo o tipo de superfícies e formas, incluindo objectos e efeitos que seriam completamente impossíveis de replicar no mundo real.

F.1.1 VISTAS E ESPAÇO TRIDIMENSIONAL

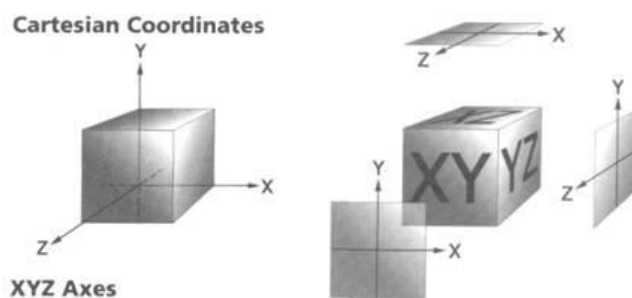


Fig. 184 - Sistema Cartesiano de Coordenadas - Vistas *Top*, *Front* e *Left*, projecções ortográficas dos objectos (Luz 2002)

O conceito tridimensional de representação, assenta na ideia de que qualquer objecto visualizado no espaço, em perspectiva, pode ser representado de um modo bidimensional. A representação faz-se através das projecções das suas vistas para um plano, a que chamamos alçados. Geralmente nos programas de modelação 3D trabalha-se com quatro janelas (*viewports*), acedendo assim rapidamente a 4 vistas diferentes: *Top*, *Front* e *Left* (projecções ortogonais) e a uma perspectiva cónica ou ortogonal na quarta janela (ver Fig. 185). Outras vistas podem ser facilmente seleccionadas em função das necessidades de visualização específicas de cada modelo, de forma a que o modelador possa trabalhar de modo mais eficaz. Trabalhando sobre um sistema

cartesiano de coordenadas, trabalham-se os objectos nas suas verdadeiras grandezas (Luz 2002, parte I).

A perspectiva tenta representar a imagem captada pelo olho humano, recriando um efeito de profundidade. Existem diversas normas para a representação de perspectivas: as clássicas (Cavaleira, Axonómicas, Isométricas, entre outras) e outras mais livres, que não respeitam normas de proporções, pois pretendem ser mais dinâmicas, mais criativas para o fluir da animação. Torna-se de extrema utilidade poder aceder também às perspectivas das câmaras que tiverem sido aplicadas na cena ou a partir dos pontos de luz (*Spot Light*). À medida que movemos a câmara dentro da cena, a perspectiva na janela altera-se imediatamente (ibid.).

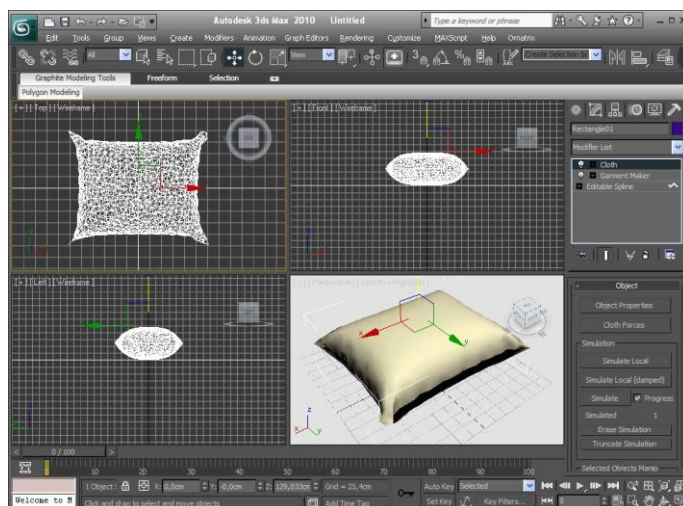


Fig. 185 - Viewports no 3ds max 2010, vistas ortogonais e perspectiva (Start 3D, 2010)

F.1.2. MODELAÇÃO COM POLÍGONOS

A modelação poligonal é feita através da representação de superfícies dos objectos pela utilização de polígonos. Este tipo de modelação adequa-se ao método de *render* por *scanlines*⁸² tornando-o o mais escolhido para aplicações em tempo-real como a cenografia virtual e os video-jogos.

⁸² linhas de varredura, ver secção F.3.7 para *scanline rendering*.

A união de polígonos de pelo menos 3 lados (os de 3 e 4 são os mais utilizados, triângulos e quadriláteros, mas outros mais complexos também são utilizados) dá origem a uma malha composta por vértices. Cada vértice corresponde a um ponto no espaço tridimensional. Dois pontos ligados originam uma aresta, por sua vez três vértices ligados por três arestas definem um triângulo (face), o polígono mais simples no espaço Euclidiano. Polígonos mais complexos obtêm-se a partir de triângulos múltiplos, ou através de objectos com mais vértices. Um grupo de polígonos ligados por vértices em comum é designado por superfície, sendo cada um desses polígonos composto por faces (ver Fig. 186).

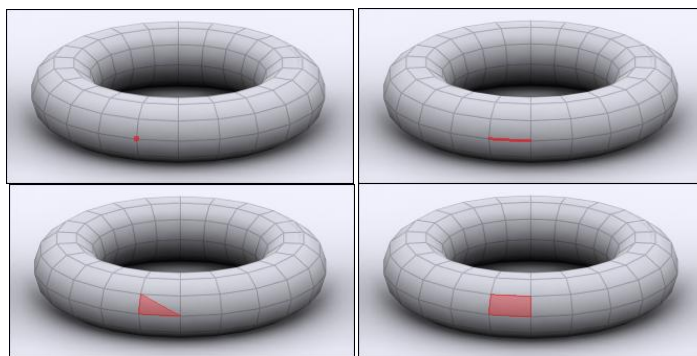


Fig. 186a/186b/186c/186d – a) vértice; b) aresta; c) face; d) polígono; a definição das superfícies no espaço tridimensional faz-se através de malhas de polígonos (Lehtinen 2009).

Os três pontos não colineares originam um plano, algo que pode não acontecer quando se trabalha com polígonos mais complexos. No entanto a particularidade dos triângulos assim originados está no facto de por definirem um plano ser fácil determinar a normal à superfície (vector tridimensional perpendicular à superfície do triângulo). É através da determinação da normal, que se efectuam os cálculos necessários à produção de imagens renderizadas com algoritmos: efeitos de luz, reflexos, refração, etc. Alguns sistemas de *rendering* usam as normais calculadas a partir dos vértices ao invés das faces, obtendo resultados mais realistas na iluminação. No entanto, este método exige um maior processamento de dados e conseqüentemente também mais tempo para a produção de imagens. É importante ainda reter que a cada triângulo correspondem duas normais à face, apesar de estarem na mesma direcção,

tomam sentidos diferentes, opostos a partir do plano definido pelo triângulo/face. Em muitos sistemas só uma das normais é válida e a face interior do polígono é chamada de *backface*, estas faces podem ser tornadas visíveis ou invisíveis dependendo das necessidades do modelador.

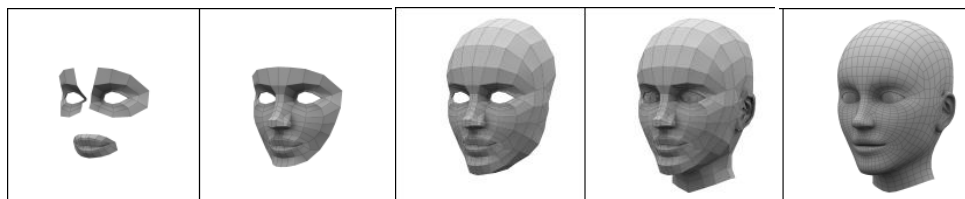


Fig. 187 - Modelo realizado através de modelação com poucos polígonos (*lowpoly*), e o mesmo modelo depois de aplicada a subdivisão de superfícies (Lehtinen 2009).

Os polígonos conectados através dos seus vértices formam e delineiam as superfícies que perfazem o modelo 3D. Estes contornos são conhecidos por malhas ou estruturas de arame (*mesh* ou *wireframe*). É desejável que durante o processo de construção das mesmas, que as arestas não intersectem os polígonos, isto é, que as faces não se intersectem a si próprias ou algumas deformações poderão ser visíveis durante o processo de *render*. Outro tipo de erros ocorre quando sobrepomos, vértices, arestas e faces.

A construção das malhas de polígonos pode ser realizada manualmente vértice a vértice, no entanto, geralmente utilizam-se diversos processos mais simples e ferramentas para a sua realização. O método mais simples de criação de polígonos utiliza duas ferramentas simples, *subdivide* (subdivisão) e *extrude* (extrusão). O primeiro divide as faces em faces mais pequenas pela adição de mais vértices, o segundo é aplicado a uma face ou grupo de faces, e funciona pela criação de uma nova face ligada à que lhe deu origem por faces que unem a face original à face que lhe é paralela. Este comando aplicado a um quadrado produziria um cubo. Igualmente comum é o método em que o modelador utiliza fotografias ou imagens 2D do objecto a modelar como base e delinea sobre elas as linhas que servirão à criação das superfícies. Geralmente desenha-se apenas metade do objecto e procede-se à sua replicação

simetricamente (método semelhante à técnica de modelação com gaiola de curvas, ver secção F.1.4.2).

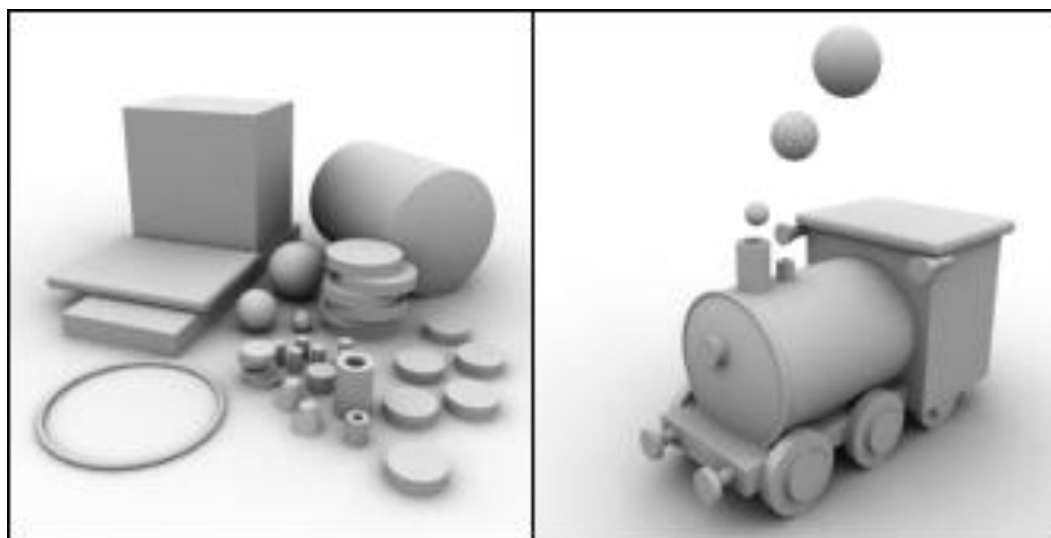


Fig. 188 - Primitivas simples (Lehtinen 2009).

Outro dos métodos mais simples e utilizados faz-se pela construção de modelos baseados em primitivas. As primitivas simples incluem as principais figuras geométricas tais como cubos, paralelepípedos, cilindros, prismas, tubos cilíndricos e prismáticos, cones e pirâmides, esferas clássicas e geodésicas e toros. Podemos ainda utilizar planos infinitos, práticos para simular chão ou terreno. As primitivas complexas correspondem a sólidos como poliedros hedra ou estrelas, torus com nó, caixas e cilindros com chanfros, cilindros com diferentes topos, formas “C” e “L”, prismas com chanfros e triangulares, etc. Podemos ainda encontrar disponíveis para uma modelação rápida em diversos *softwares*, objectos como portas, janelas e escadas diversas, paredes, plantas e vedações (ver Fig. 189) (Barata & Santos 2010, *passim*).

Por fim temos ainda a possibilidade de obter modelos 3D modelados com polígonos através da utilização de *scanners* 3D. Utilizando *software* específico, replicam-se virtualmente e de forma bastante detalhada modelos reais. Estes dispositivos são dispendiosos e são geralmente utilizados apenas por investigadores e pela indústria especializada.

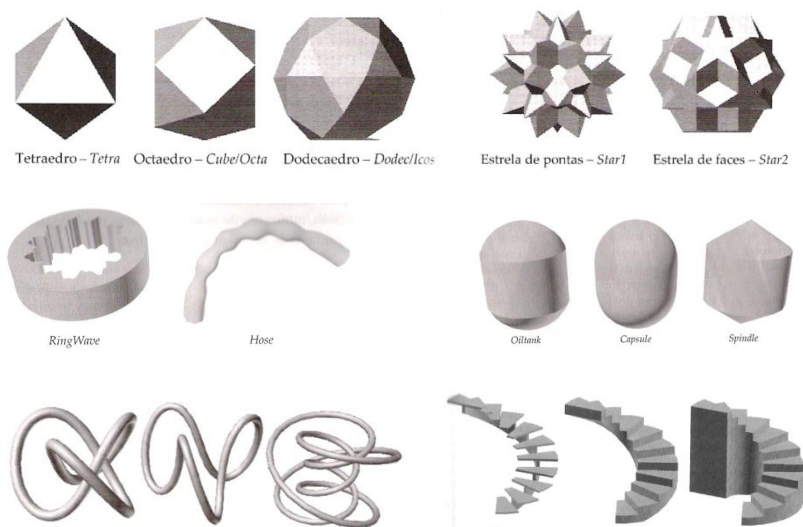

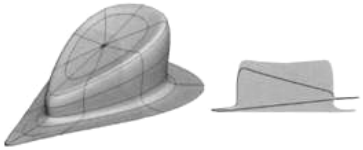
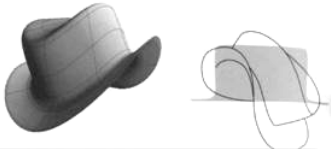


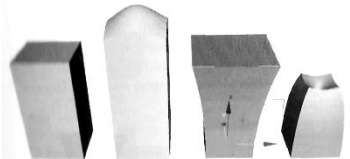
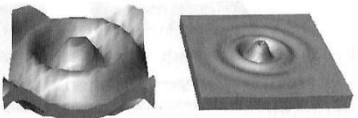
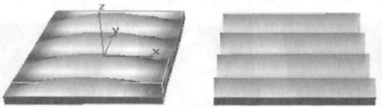

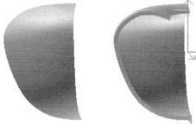


Fig. 189 - Primitivas complexas (Barata & Santos 2010, passim)

F.1.2.1 MODIFICAÇÕES, TRANSFORMAÇÕES E MANIPULAÇÃO DE POLÍGONOS

Importa definir a diferença entre as modificações e as transformações que podem ser realizadas sobre os polígonos. No caso das modificações estas implicam a alteração da estrutura interna do objecto, isto é, a relação entre os seus vértices não é mantida. As transformações possíveis tem três tipos de naturezas diferentes translação, rotação e escala e não alteram a estrutura interna do objecto, actuando apenas no seu sistema de coordenadas. Podemos ainda facilmente executar cópias dos objectos, criar reflexões dos objectos ou alinhar cópias de objectos segundo referências pré-definidas (Barata & Santos 2010, passim).

Para as modificações existe hoje um diverso leque de opções dentro dos diferentes tipos de *software*, quanto mais profissional mais opções naturalmente. Os modificadores paramétricos são modificadores geométricos que retratam operações tais como flexão, distorção, compressão, etc. Na Tabela 1 ilustram-se os diversos casos de modificações geométricas.

MODIFICAÇÃO	EXEMPLO	DESCRIÇÃO
1.Flexão		Flexão de uma superfície segundo determinado ângulo e direcção.
2.Afunilamento		Afunilamento ou alargamento de um objecto alterando a escala de uma das suas secções externas, o afunilamento pode ser linear ou curvo.
3.Torção		Torce o objecto através de rotações sucessivas das suas secções.
4.Distorção		As secções do objecto vão sendo deslocadas em relação às secções anteriores, segundo a direcção escolhida.
5.Estiramento		Aplica um estiramento positivo ou negativo ao objecto seleccionado, isto é, estica o elemento em determinada direcção mantendo as secções extremas nessa direcção.
6.Compressão		Aplica um efeito de compressão ou dilatação através da aproximação ou afastamento dos vértices mais próximos do ponto <i>pivot</i> .
7.Ondulação Concêntrica		Aplica um efeito de onda concêntrica ao objecto seleccionado. Efeito semelhante ao de uma pedra a cair na água.
8.Ondulação Direccional		Simula o efeito das ondas do mar, numa direcção escolhida.
9.Ruído		Alteração aleatória das posições dos vértices do objecto.
10.Concha		Permite aplicar uma espessura a um objecto composto por um conjunto de faces.

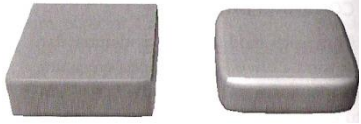

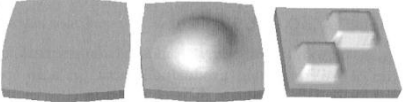



11.Relaxação		Alivia a tensão superficial do objecto através da aproximação (caso mais comum) ou afastamento dos vértices exteriores em relação aos vértices vizinhos.
12.Esfera		Aproxima a forma do objecto à forma de uma esfera, se houverem segmentos suficientes.
13.Deslocamento		Distorce a geometria do objecto seleccionado através dos seus vértices, com base em armaduras de forças (<i>gizmos</i> ⁸³), na escala de cinzentos de uma imagem ou de um mapa.
14.Bolha		Permite criar uma bolha na superfície do objecto.
15.Inflação		Permite puxar os vértices para fora ou para dentro em relação à sua normal, produzindo uma inflação positiva ou negativa, respectivamente.
16.Estrutura em Arame		Converte um objecto numa estrutura de arame com junções nos vértices. Cada aresta é substituída por uma barra prismática e cada vértice por uma junção.

Tabela 1 - Modificações geométricas sobre modelos de polígonos. (1.-3. Luz 2002, Parte II; 4.-16. Barata & Santos 2010, passim)

A possibilidade de transformar as superfícies de polígonos em superfícies de Bézier (*patches*), permite utilizar as ferramentas aplicadas na modelação com NURBS e *patches* a modelações inicialmente realizadas com polígonos. O contrário também é possível, transformando superfícies de Bézier em malhas de faces ou em malhas de polígonos, e aplicando-lhes as ferramentas para modelação com polígonos. Salva-guarda-se o facto de que esta aplicação

⁸³ Uma armadura é uma caixa em diagrama de arame, que envolve um objecto e controla a modificação aplicada.

geralmente torna a cena bastante mais complexa pelo que deve ser utilizada com cautela uma vez que exige bastante do processamento.

Outro tipo de modificações incluem a deformação das superfícies com base numa superfície (*patch*), numa curva (*spline* ou NURBS) e livre (ver Fig. 190).

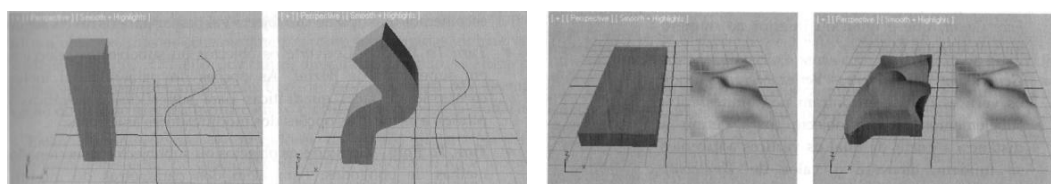


Fig. 190a/190b - Deformação das superfícies com base numa *spline* e numa superfície curva (Barata & Santos 2010, pp. 196-197)

F.1.2.2 APLICAÇÕES

Os modelos gerados por modelação com polígonos, são entre outras aplicações, especialmente utilizados na produção de *renders* foto-realistas, em modelos *lowpoly* para videojogos, na indústria televisiva e no cinema.

Artistas e *designers* profissionais utilizam modelos construídos com polígonos na criação de *renders* foto-realistas, anúncios impressos ou para a *web*, em capas de revistas e livros ou mesmo como obras de arte.

A indústria dos videojogos por sua vez será talvez a que mais utiliza a modelação *lowpoly* por sistema. Ao contrário dos *renders* hiper-realistas, a realização do *render* é feita sempre em tempo-real, como tal a maior parte dos modelos utilizados nos personagens dos jogos ronda os 2000 a 4000 polígonos (no caso de um jogo com personagens mais detalhados) contra os muitos milhares de polígonos utilizados por um modelo do Poser (McGregor 2009b). A modelação *lowpoly* é por excelência o tipo de modelação escolhida para a realização de modelos virtuais a aplicar em programas televisivos com *render* em tempo-real.

A modelação com muitos polígonos é utilizada na modelação e animação de personagens, mundos virtuais e também na realização de uma

grande variedade de efeitos visuais na indústria cinematográfica. Alguns exemplos incluem Shrek, Toy Story e Beowolf, estes trabalhos foram realizados com os melhores *softwares* de modelação 3D sobre as melhores plataformas de *render* disponíveis no mercado (McGregor 2009b).

F.1.2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA MODELAÇÃO COM POLÍGONOS

A maior desvantagem da representação de objectos através de polígonos recai no facto de os mesmos serem incapazes de reproduzirem correctamente superfícies curvas. Para obter o efeito visual de uma superfície suave é preciso utilizar um elevado número de polígonos, no entanto a utilização de muitos polígonos atrasa o processamento dos dados pelo *hardware*. Para a execução de um *render* por varredura (*scanline rendering*), todos os polígonos têm de ser convertidos e mostrados independentemente do tamanho, conseqüentemente quanto mais complexos os modelos mais lento se torna o cálculo da imagem. Para controlar este tipo de problema e no sentido de economizar tempo de processamento e otimizar recursos, é frequente os modeladores realizarem dois modelos semelhantes que diferem apenas no número de polígonos utilizados (obedecendo à mesma geometria). Com mais ou menos pormenor estes modelos são renderizados para obter imagens ao perto no primeiro caso e ao longe no segundo caso.

Por outro lado a grande vantagem está em que através de uma utilização controlada dos polígonos, este continua a ser o método mais rápido para se obter um *render* em tempo-real. Na realidade, tem sido de suma importância o facto dos fabricantes de *hardware* específico terem direccionado os seus esforços para o desenvolvimento de sistemas que aceleram o processamento de *render* de polígonos (*scanline rendering*). Quer para aplicação em videojogos, ambientes para realidade virtual ou no caso específico que nos interessa abordar, a cenografia virtual televisiva, a sua renderização faz-se mais rapidamente do que através de qualquer outro método de modelação.

Em relação à modelação com NURBS, a modelação com polígonos é referida pelos modeladores como mais fácil de controlar. As ferramentas

disponíveis estão mais desenvolvidas para trabalhar com polígonos do que com NURBS como tal as possibilidades também são maiores. Também a texturização das superfícies se faz de forma mais rápida em superfícies poligonais do que em *patches*, apresentando as últimas diversos problemas controlados apenas por profissionais com bastante experiência.

F.1.3 MODELAÇÃO POR SUBDIVISÃO DE SUPERFÍCIES

A subdivisão de superfícies é outro dos métodos utilizados na modificação/modelação das superfícies. A sua utilização tem grangeado bastante fama entre todo o tipo de modeladores. As superfícies podem ser provenientes de uma modelação directa com polígonos ou através de uma modelação com NURBS e *patches* que foi posteriormente convertida a superfície poligonal. A sua grande vantagem está em que o modelador pode modelar uma superfície de traços bastante rudes, e através da divisão das faces da malha dar-lhe rapidamente uma aparência suave e orgânica.

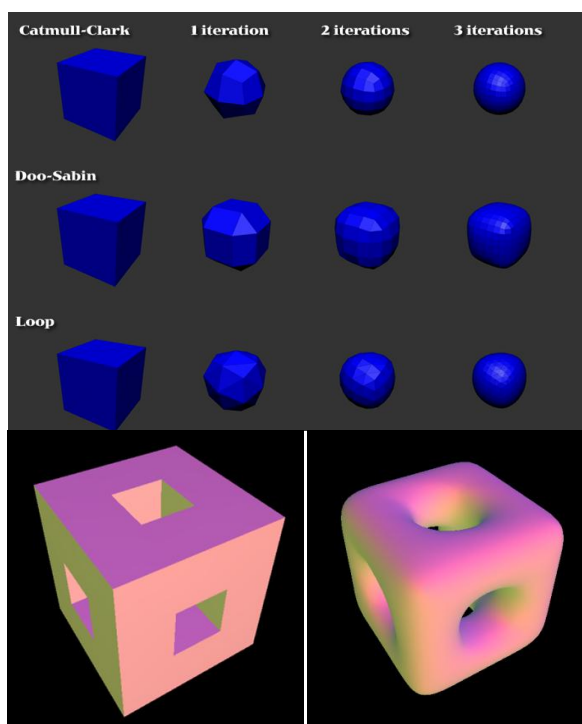


Fig. 191a/191b - Diferentes algoritmos efectuem o cálculo para a subdivisão das superfícies (UV Mapper 2009 & Lomont 2006).

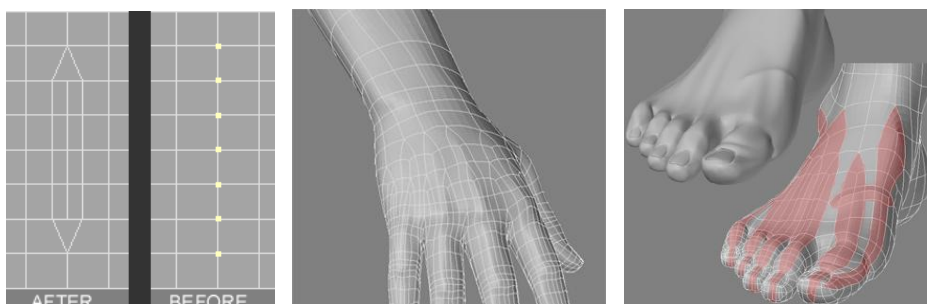


Fig. 192 - Modelação com subdivisão de polígonos (Evans, © 2003 All artworks Christopher Evans).

Quando aplicada selectivamente a apenas algumas partes do modelo permite realizar modelações com boa resolução sem se aumentar exageradamente o número de polígonos, a subdivisão é realizada apenas nas zonas em que tal se torna necessário para aumentar os detalhes do modelo (ver Fig. 192). Tomando o exemplo da modelação do ser humano, temos que as mãos e os pés precisam de mais informação do que os braços ou as pernas, como tal é desejável que nos extremos do modelo haja um maior número de polígonos para dar formas mais detalhadas às superfícies (Evans 2003).

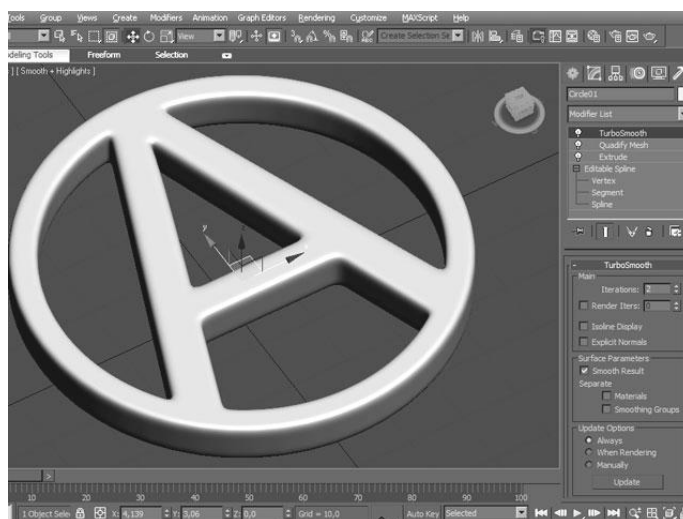


Fig. 193 - Aplicação de um dos modificadores do 3ds Max 2010, *Quadify Mesh*. Suaviza as arestas alterando as faces triângulares do 3ds Max, para faces rectangulares. (Vieira, n.d.).

Outro dos métodos de subdivisão de superfícies bastante utilizado, faz-se através da aplicação da subdivisão apenas às arestas de objectos. Cada

vértice e aresta são substituídos por faces tornando o objecto mais complexo mas com linhas mais suaves (ver Fig.193).

Todavia, a subdivisão das superfícies produz alguns problemas na *render* que têm de ser tidos em conta durante a modelação, e se possível evitados ou resolvidos por ferramentas próprias antes de se iniciar o processo de *render* da imagem final. No caso do comando de subdivisão se basear no algoritmo de Catmull-Clark, a face originada pela subdivisão, compartilha da mesma normal à face que lhe deu origem. Na representação em estrutura de arame tal não é notado mas quando se passa para o tipo de visualização sólida ou ao *render* do modelo, as mudanças abruptas nas normais podem originar linhas escuras. Para corrigir este efeito as normais têm de ser recalculadas antes de se efectuar a visualização do modelo (ver Fig. 194) (*Blender.org*, n.d. e).

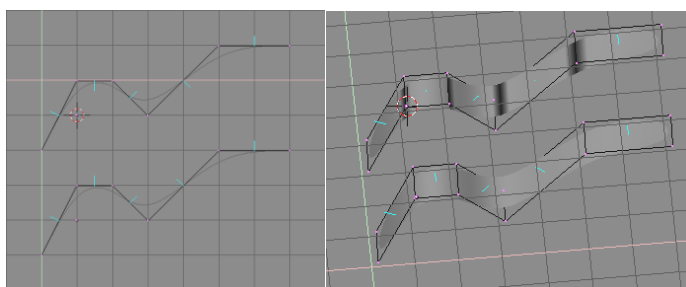


Fig. 194a/194b - Visão lateral de malha subdividida. Com normais aleatórias (topo) e normais coerentes (abaixo). Visão sólida de uma malha subdividida com normais inconsistentes (acima) e normais recalculadas (abaixo) (*blender.org*, 2010).

Na aplicação das modificações por subdivisão ou eliminação de faces, temos a importante inclusão de diferentes ferramentas que optimizam o número de polígonos dos modelos. Através do próprio *software* é possível reduzir a quantidade de polígonos ao essencial para manter uma aparência em visualização realista (*rendering*) ou através de parâmetros programados pelo modelador escolher a resolução que se deseja aplicar (Barata & Santos 2010, pp.193-196).

A utilização das SDS (*SubDivision Surfaces*) tem vindo a aumentar gradualmente eventualmente retirando o entusiasmo inicial produzido pela

aplicação de NURBS. Programas como Cinema 4D chamam às SDS, HyperNURBS, pelos resultados orgânicos semelhantes aos conseguidos por NURBS.

F.1.4 MODELAÇÃO COM *SPLINES* E NURBS



Fig. 195 - A animação de Victor Navone *Alien Song*, produzida em 1999 grangeou uma grande projecção a nível internacional ao demonstrar as possibilidades da utilização de *software* (*Animation Master*), dedicado exclusivamente à utilização de superfícies desenhadas com base em modelos matemáticos (Dykstra 2009).

A modelação com *splines*, *B-splines*, *curvas de Bézier* e NURBS surgiu como uma forma de suplantar as possibilidades de modelação de formas orgânicas com polígonos. Esta última, apresenta por norma malhas extremamente densas com um *rendering* intenso e demorado. A modelação com *splines*, também conhecida como modelação com *patches* foi acolhida como uma eficiente alternativa à utilização dos polígonos. Teve uma excelente aceitação nas empresas de animação, que aproveitaram as suas possibilidades para aumentar a velocidade de *rendering* das suas animações.

F.1.4.1. SPLINES, PATCHES, NURBS E SUPERFÍCIES DE BÉZIER

A grande diferença entre a modelação com polígonos e a modelação com curvas (*splines*, *B-splines* e NURBS) e superfícies de Bézier, é que esta última é expressa por funções matemáticas, em vez de por uma série de pontos no espaço tridimensional. Estas linhas e superfícies podem seguir diferentes leis matemáticas, mas todas se definem por dois ou mais pontos de controle. A Fig. 196 ilustra o exemplo mais simples dessas linhas.

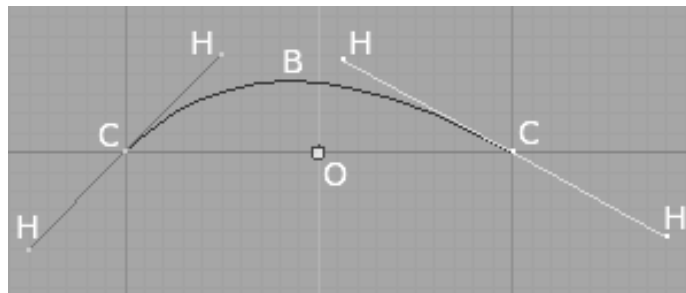


Fig. 196 - A curva (*spline*) B é definida por dois pontos/vértices (C) que por sua vez são controlados por dois manipuladores (H), neste caso tangentes aos pontos C. O centro da curva é o ponto O (*blender.org*, 2010).

A cada ponto de controle na linha corresponde um ponto na curva e dois pontos que manipulam a forma da curva. O ponto na linha é utilizado para mover todo o ponto, se o movermos de lugar movemos o ponto e também os manipuladores; seleccionando apenas um dos manipuladores e arrastando-o podemos modificar a forma da curva mas o ponto na linha mantêm-se no mesmo lugar. Numa curva de Bézier os segmentos que vão do ponto na curva aos manipuladores são tangentes à curva, o comprimento destes segmentos definem a forma da curva (*Blender.org*, n.d. b).

Consideram-se duas categorias de *splines*, *splines* de interpolação (*splines* lineares) que passam por todos os pontos de controle e *splines* de aproximação como as curvas de Bézier que passam perto de todos os pontos de controle, sendo estas últimas mais suaves que as primeiras. Uma vez que estas linhas obedecem a leis matemáticas, também podemos controlar a sua resolução

e controlar o número de pontos que serão processados durante o *rendering* entre cada dois pontos de controlo da curva (ver Fig. 197) (*Blender.org*, n.d. b).

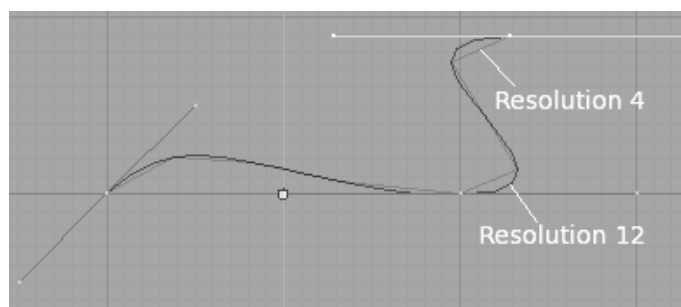


Fig. 197 - Duas resoluções diferentes de uma linha de Bézier controlada pelo software Blender (*blender.org*, 2010).

Simplificando, as *splines* em modelação 3D são linhas que descrevem curvas. Estas curvas são definidas por um número de pontos e podem ser utilizadas para construir geometria tridimensional. Uma malha criada pela intersecção de *splines* produz áreas chamadas de *patches*. Numa malha de *splines* os *patches* são parecidos com os polígonos, mas têm vantagens na modelação orgânica pois é possível com apenas um *patch* definir uma superfície curva, algo que não acontece com os polígonos. Seria necessário um grupo bastante denso de polígonos para reproduzir algo que pode ser conseguido apenas com um *patch*, com a vantagem adicional de que ao aproximarmo-nos do pormenor a forma não é multifacetada. As malhas de *patches* podem ser modificadas dentro do espaço tridimensional através da adição de pontos à malha, ao qual são conectadas novas *splines* para criar novos *patches*, ou através da alteração das posições das *splines* existentes nos pontos de intersecção, alterando a curvatura da superfície dos *patches* (McGregor 2009a).

As NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines), são curvas que obedecem a polinómios racionais, são utilizadas para gerar e representar curvas e superfícies oferecendo uma grande flexibilidade e precisão na modelação de formas livres ou analíticas. Estas linhas também são controladas por pontos (vértices) que não são visíveis em *render*. A diferença em relação às suas congéneres está em que as fórmulas por elas utilizadas permitem construir linhas

matemáticas puras, como circunferências por exemplo, enquanto que as primeiras apenas conseguem obter formas aproximadas. No entanto trabalhar com os manipuladores destas curvas é bastante mais complicado do que com as linhas convencionais, sendo necessário dominar mais parâmetros para lhes dar forma (ver Fig. 198). Os pontos de controlo definem os pontos onde as curvas são interpoladas, por sua vez os *patches* são criados através do cruzamento das linhas.

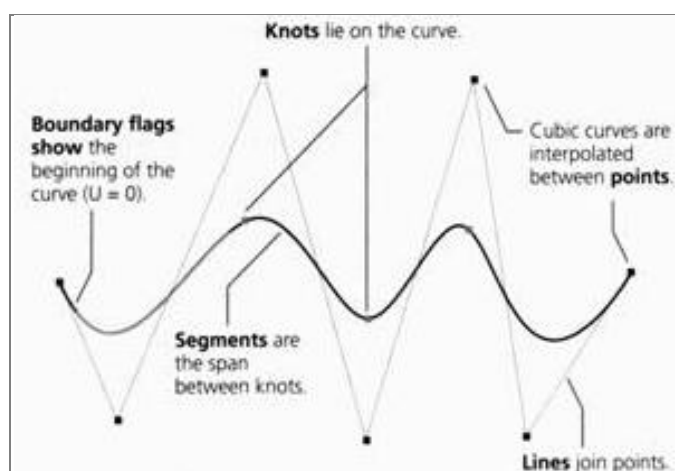


Fig. 198 - Componentes de uma NURB (Luz 2002, Parte II)

As NURBS utilizam-se sobretudo porque produzem superfícies e transições entre as superfícies muito suaves. Podemos adicionar mais pontos de controlo ao longo da linha sem modificar a forma da superfície, e só depois modificar como desejarmos. No método por subdivisão de superfícies tal não é possível pois sempre que se acrescenta resolução modifica-se a superfície e como tal também a continuidade entre as diferentes superfícies. Esta continuidade entre as junções das superfícies pode ser definida em três níveis diferentes. Transição linear, referindo-se a uma transição mais rígida na fronteira; Transição de fronteiras tangentes, onde as superfícies são tangentes na fronteira transmitindo uma sensação de transição bastante suave; e transição por continuidade de curvatura, onde para além de serem tangentes as curvas tomam o mesmo tipo de curvatura junto da fronteira. Este último tipo de união é aquele que geralmente é mais desejado quando se escolhe modelar com NURBS, para além da sua utilização

em animação de formas orgânicas é extremamente útil no desenvolvimento de determinados objectos, como carros ou electrodomésticos, sendo bastante utilizado em Design Industrial (ver Fig. 199). As superfícies que conseguem um melhor nível de continuidade são muitas vezes referidas como superfícies do tipo Class-A. Estas superfícies conseguem com um número de pontos de controlo reduzido obter uma grande suavidade na superfície (*Subdivisionmodeling.com*, n.d.).

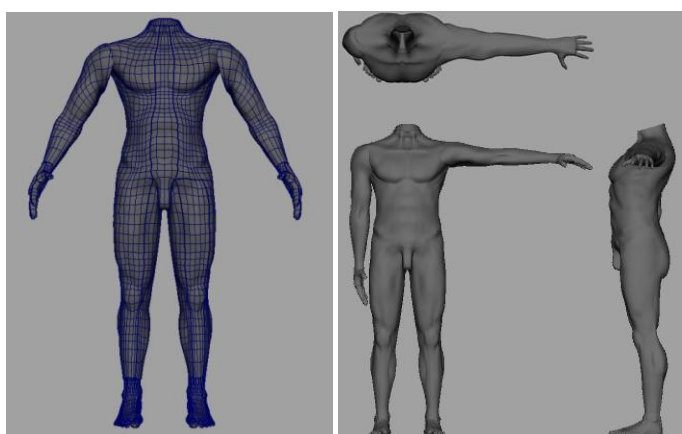


Fig. 199 - Modelação com NURBS (*Human models*, n.d.)

F.1.4.2 TÉCNICAS DE MODELAÇÃO COM CURVAS E PATCHES

Algumas técnicas de modelação são exclusivas da utilização de *splines*, *patches* e NURBS, tais como por exemplo a extrusão de um perfil ao longo de uma curva. A verdade é que dependendo do objectivo, as superfícies e curvas podem ser mais vantajosas do que as malhas de polígonos. Com o tempo o modelador aprende a escolher aquele que proporciona um resultado mais eficaz quer visualmente como em termos de processamento.

Para o desenho das diferentes linhas, são utilizadas diversas ferramentas que permitem a sua construção. É necessário escolher o tipo de linha, se queremos desenhar as curvas com os vértices de controle exteriores à curva ou com nós adicionais sobre a linha (linhas interpoladas). Podem-se desenhar para além das linhas curvas, linhas rectas ou mistas e desenhar livremente. Aplicam-se formas pré-definidas, tais como círculos, arcos, rectângulos, polígonos, elipses,

donuts, estrelas, texto, espirais entre outras (entidades lineares compostas por uma ou mais *splines*) que facilitam a construção de diversos tipos de objectos.

É possível modelar com curvas directamente a partir da utilização de primitivas simples construídas com NURBS. Diversas ferramentas permitem esculpir estas formas através de operações booleanas, cortes nas malhas e boleamento das arestas, gerando assim formas mais complexas.

Apesar do acima exposto, é através da construção das linhas básicas do modelo 3D que se constroem as superfícies curvas mais utilizadas neste tipo de modelação. O método mais simples (*revolve*) faz-se através da rotação de uma forma ou curva NURBS em torno de um eixo, transformando uma entidade 2D num objecto 3D. Em dependendo da maneira como definimos os parâmetros do perfil em relação ao eixo os resultados podem ser bastante diferentes (ver Fig. 200).

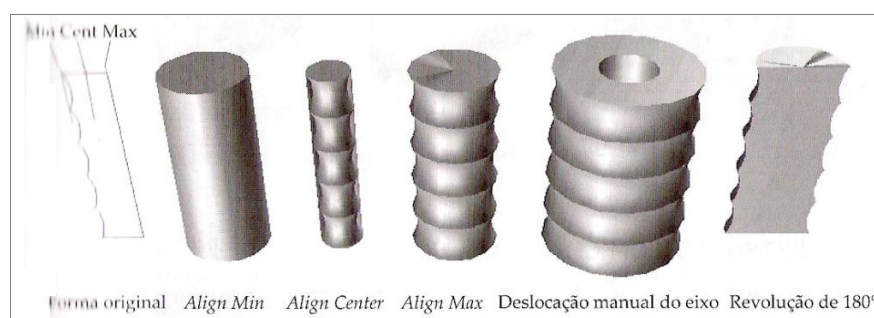


Fig. 200 - Objectos de revolução: rotação de uma forma ou curva NURBS em torno de um eixo (Barata & Santos 2010, p.223).

A extrusão de uma secção segundo a orientação de um ou mais eixos (x,y,z) produz formas simples (vigas), enquanto a extrusão de uma secção ao longo de uma curva (*sweep*) pode produzir resultados mais complexos como os da Fig. 201. Neste caso a extrusão é orientada por um vector (uma curva *spline* ou NURBS). Esta curva pode ser facilmente modificada através dos seus pontos de controlo, afectando assim a superfície criada. Aquando da extrusão é importante definir alguns parâmetros como o número de segmentos ao longo da altura e se serão criadas superfícies de topo a fechar as superfícies. Geralmente também é possível definir se as arestas da superfície gerada terão uma aparência boleada.

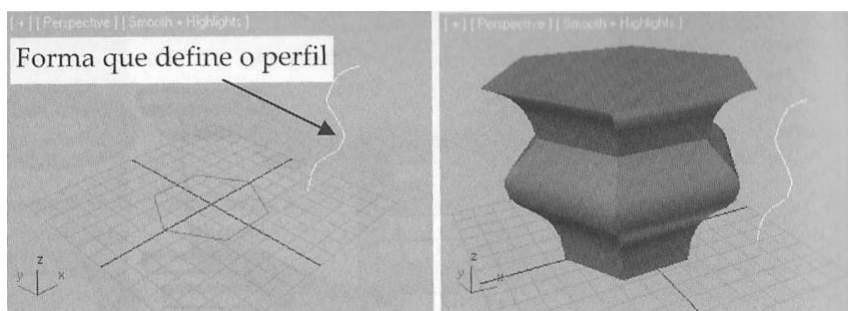


Fig. 201 - Extrusão de uma secção ao longo de uma curva/*spline* (Barata & Santos 2010, p.226).

Da mesma maneira, é possível realizar a extrusão de uma curva ao longo de dois ou mais perfis. Neste caso a superfície produzida pode ter resultados realmente surpreendentes, bastante mais difíceis de conseguir na modelação directa com polígonos. Para criar este tipo de superfície através de três, quatro ou mais referências, primeiro selecciona-se a curva que representa o percurso (guia) da superfície, e só posteriormente se seleccionam as outras curvas (perfis). O contrário também é possível utilizando-se uma curva (perfil) que seguirá duas ou mais guias simultaneamente para formar a superfície (ver Fig. 202).

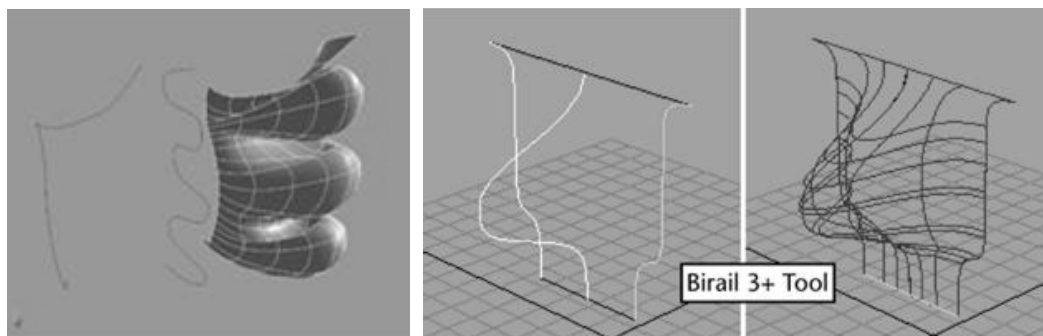


Fig. 202a/202b/202c - Exemplo de Extrusão de curvas ao longo de guias (*rails*) (Luz 2002, Parte IV & Autodesk Maya Help 2011, © 2000-2010 Autodesk).

Outra das possibilidades da modelação com NURBS e *patches*, realiza-se através do comando *loft* presente em diversos programas de modelação 3D. Este permite criar um objecto tridimensional a partir de sucessivas secções. É possível entre secções definir guias que vão determinando a forma como a secção evolui ao longo da modelação (ver Fig. 203). Esta técnica obriga a ter em conta

três conceitos: a importância de manter o número de pontos de controlo entre as curvas semelhante, o facto de que a utilização de multi-guias funciona melhor em arestas direitas e em secções com poucas diferenças e que este método é especialmente vantajoso se for usado na criação de formas genéricas conjuntamente com ferramentas que aplicam cortes (*trim*) e unem (*blend*) suavemente superfícies (Autodesk Maya Help 2011, n.d).

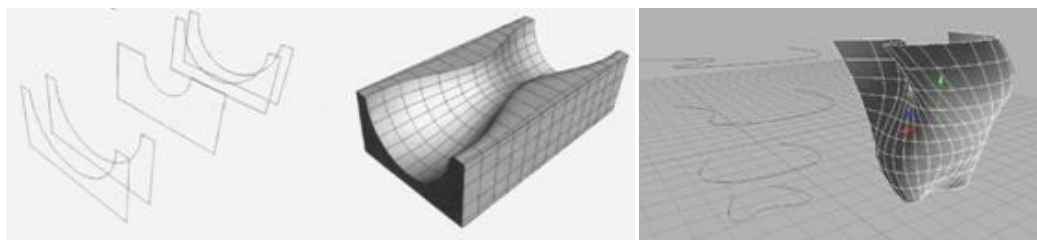


Fig. 203a/203b - Geração de um objecto através de secções sucessivas (Luz 2002, Parte II & Parte IV)

Outro dos métodos mais utilizados na construção de superfícies curvas, baseia-se na definição das quatro linhas curvas que delineiam a fronteira da superfície. A maneira como seleccionamos as quatro linhas torna-se importante na definição dos parâmetros que definem a superfície e que mais tarde definirão também o resultado da aplicação de texturas (ver Fig. 204).

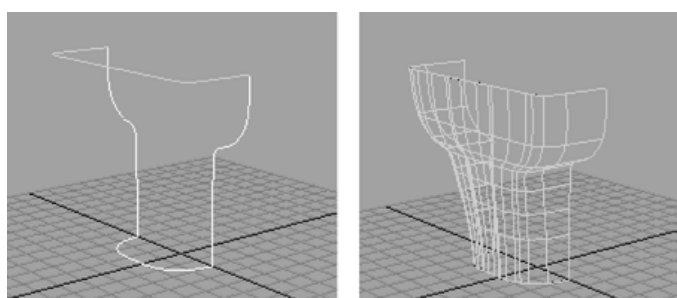


Fig. 204a/204b - Método de geração de superfícies por definição das linhas que formam a fronteira (Autodesk Maya Help 2011, © 2000-2010 Autodesk).

Para se obterem resultados de *blending* entre as superfícies geradas utilizam-se ferramentas que aplicam cálculos matemáticos precisos obtendo-se assim resultados de extrema qualidade. O programa fá-lo automaticamente após a

definição dos parâmetros pelo modelador. Este tipo de ferramenta elimina muito tempo de trabalho no processo de modelação.

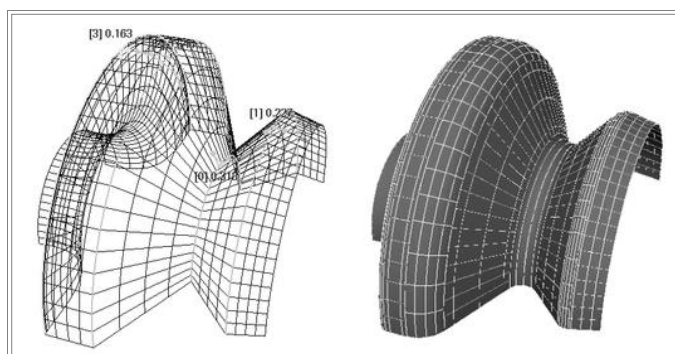


Fig. 205 - *Blending* de duas superfícies modeladas com NURBS (Autodesk Maya Help 2011, © 2000-2010 Autodesk).

A modelação com NURBS é também muito utilizada na criação de *lettering* tridimensional. O facto de os caracteres de uma fonte serem definidos por splines, facilita o processo de extrusão e *bevel* que as transforma em modelos tridimensionais. Os resultados são bastante expressivos e simples de realizar pelos modernos *softwares* de 3D (ver Fig.206).

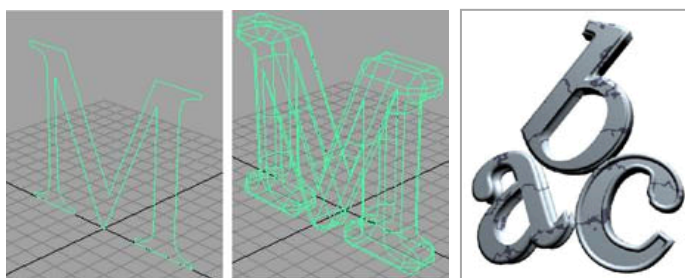


Fig. 206a/206b/206c - A modelação de letras em 3D é extremamente útil na produção de logotipos e animações com letras (Autodesk Maya Help 2011, © 2000-2010 Autodesk).

Finalmente referimos aqui um tipo de modelação com NURBS que terá sido de grande importância aquando da sua introdução, provocando uma grande aceitação da técnica por parte das empresas de animação: a modelação com gaiola de curvas (*spline cage*). Iniciando o processo de modelação através de fotos, esboços e desenhos 2D, são desenhadas diversas linhas curvas

tridimensionais baseadas nas coordenadas dadas por alçados importados como fundo no ambiente 3D e dos quais se extraem as informações necessárias. A união dessas linhas, com o auxílio de diversas ferramentas, acaba por gerar uma superfície final suave e orgânica, com a vantagem de que as necessidades de processamento destas superfícies complexas é bastante inferior ao de uma forma equivalente construída com polígonos.

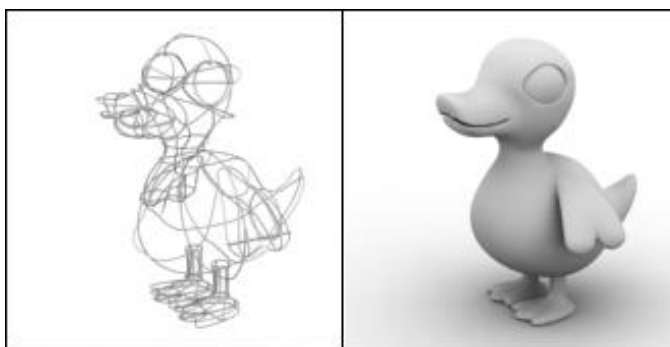


Fig. 207 - Modelação com NURBS pela técnica de modelação com gaiola de curvas (Lehtinen 2009).

F.1.4.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA MODELAÇÃO COM *SPLINES* E NURBS

De uma forma geral pode-se afirmar que o processamento da malha resultante da modelação com curvas é mais rápido do que o seu equivalente em malha poligonal, tornando este tipo de modelação mais vantajosa. Por outro lado, tal como os polígonos existem desvantagens na sua utilização.

Enquanto a modelação com polígonos afirma o seu lugar na modelação 3D para jogos, efeitos especiais e filmes, a modelação com *splines* oferece excelentes resultados em termos de eficiência no fluxo de trabalho de modelação, nomeadamente na animação de personagens. As deformações que surgem frequentemente na modelação com polígonos, acontecem menos com a modelação com *splines* e NURBS, facilitando a animação dos personagens especialmente no que respeita ao trabalho moroso de controlar as zonas de articulação. Inclusive para os estúdios de animação, o facto deste tipo de modelação permitir trabalhar com tecidos, cabelo, pelo e penas, tornou o método

extremamente importante na produção de novos personagens de carácter foto-realista. Filmes como *Finding Nemo*, *Os Incríveis* e *Wall-E* utilizaram este método para a sua realização. Esta posição não é no entanto suportada por todos os modeladores (McGregor 2009a).

Por serem representações matemáticas, este tipo de superfícies são consideradas exactas e precisas, razão pela qual são bastante utilizadas em métodos de produção como o CAM (Computer Aided Machining) e no design através do CAD. No Design Industrial e de Produto, esta técnica de modelação foi amplamente adoptada pela qualidade das superfícies produzidas através da sua utilização. *Softwares* como o *Rhino* e *SolidWorks* contribuíram bastante para a sua adopção por parte dos *designers*.

Existe ainda alguma controvérsia à volta da utilização de *splines*, NURBS e superfícies de Bézier, porquanto seja frequente depois de se ter procedido a uma modelação com curvas que esta seja transformada numa modelação com polígonos, levando a que alguns modeladores questionem o valor da modelação com curvas. Contudo, este tipo de modelação já deu provas concretas de ser mais adequado para determinado tipo de modelações. Na modelação de formas orgânicas como o casco de um barco ou de um carro a modelação é muito mais rápida, o problema poderá estar em que quando se passa para a aplicação de texturas e ao *render* das imagens, ser frequente o *software* e o *hardware* estarem mais bem preparados para trabalhar com polígonos. Na prática, as diferentes entidades procuram aproveitar o melhor dos dois processos, o que fez com que as duas técnicas se tenham vindo a desenvolver em paralelo, adaptando-se às necessidades impostas pelo mercado e também ao desenvolvimento e possibilidades do novo *hardware*.

F.1.5 MODELAÇÃO DE OBJECTOS COMPOSTOS (OPERAÇÕES BOOLEANAS⁸⁴)

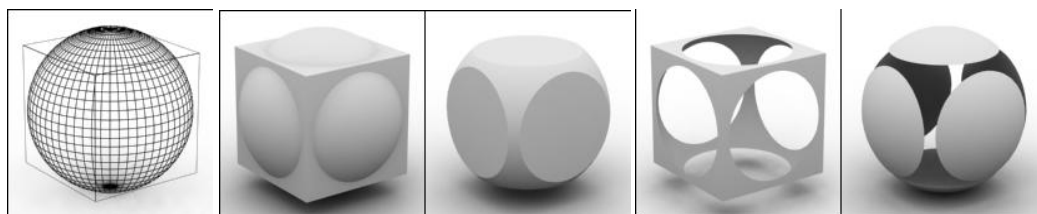


Fig. 208a/208b/208c/208d/208e - Operações booleanas associadas a dois sólidos primitivos: a) *wireframe*; b) união; c) intersecção; d) subtracção A-B; e) subtracção B-A (Lehtinen 2009).

A modelação de objectos compostos pela utilização de operações booleanas resulta da união, subtração e/ou intersecção de 2 ou mais objectos (ver Fig. 208). O processo inicia-se a partir de objectos já criados com primitivas ou superfícies, podendo a origem da modelação basear-se em polígonos ou superfícies modeladas com NURBS. Dependendo dos objectos aplicam-se diferentes ferramentas e/ou *software*.

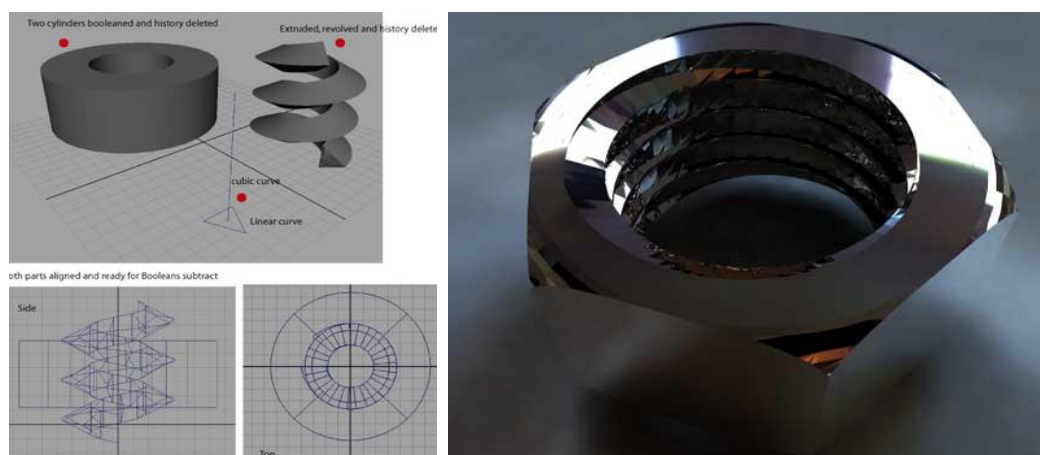


Fig. 209 - Modelação de uma porca com NURBS através de operações booleanas (*digital-tutors*, © 2002-2010 Digital-Tutors, a service of PL Studios, Inc) .

A modelação da Fig. 209 foi realizada através da modelação com operações booleanas entre superfícies criadas com NURBS. Apesar dos resultados serem semelhantes, a geometria intrínseca é diferente da gerada na

⁸⁴ O nome deriva do trabalho do matemático Inglês George Boole (1815-1864) sobre as regras das funções lógicas de operações verdade-falso.

modelação com polígonos. É frequente os modeladores terem problemas até saberem como realizar as mesmas operações com NURBS que realizam com polígonos. Os *patches* de quatro lados (curvas) não permitem a criação de “buracos” tal como as superfícies de polígonos. Na realidade a simulação de que as formas foram cortadas é aplicada pelo “*trimming*” das superfícies. Visualmente é como se cortassemos ou dividissemos a superfície através da utilização de curvas especiais chamadas de “*curve-on-surface*”. As superfícies parecem ter sido recortadas mas não foram descartadas, existem numa forma que não afecta o *render* e modelação e podem ser recuperadas se desejarmos reverter o processo (Autodesk Maya Help 2011, n.d).

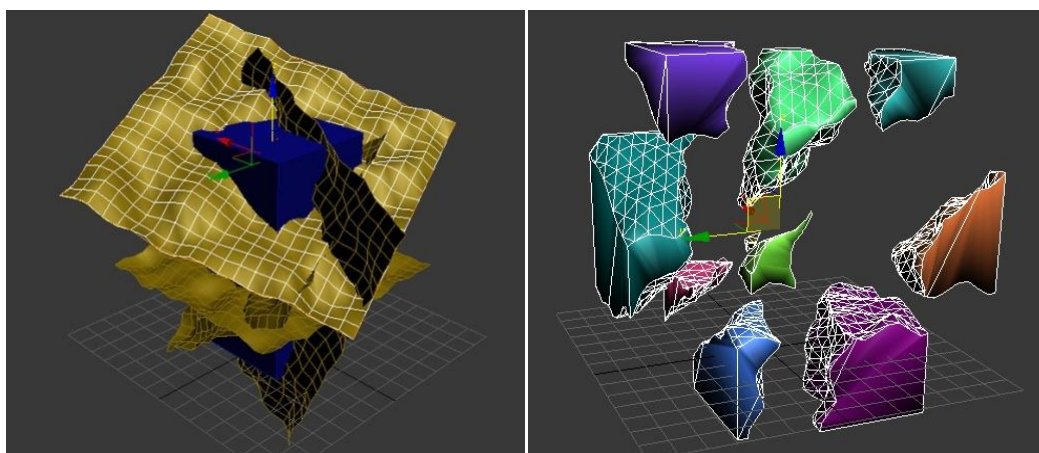


Fig. 210a/210b - Bloco recortado em 3ds Max FX utilizando o comando PROCUTTER e o *plug-in* REACTOR (Renaud 2009)

Nas simulações dinâmicas em que um objecto se parte ou vidro se estilhaça, em explosões, etc, são utilizados objectos de corte específicos. A partir do objecto inicial, a repetição do mesmo objecto interage com diversos outros objectos que cortarão o objecto inicial. Os objectos podem ser utilizados repetidamente e o resultado de cada operação é separado como um objecto independente. É possível definir se a geometria interna e externa do objecto são afectadas conjuntamente ou separadamente (ver Fig.210). As geometrias aplicadas na produção destes efeitos são baseadas em leis da física, resultando num efeito bastante realista.

F.2 CONFIGURAÇÃO DO *LAYOUT* DA CENA

A configuração do *layout* da cena realiza-se logo após a modelação. Para se poder iniciar a produção de imagens renderizadas toda uma série de procedimentos deve ser respeitada para se obterem os resultados desejados. A primeira fase passa pela aplicação de características ao modelo e a segunda pela escolha do ambiente envolvente (iluminação). Definem-se também os parâmetros de interacção entre os materiais aplicados nas superfícies e esse mesmo ambiente. No caso da produção de animações é delineado o movimento das câmaras que ditarão as sucessivas perspectivas sobre a cena e modelos.

F.2.1. MATERIAIS

Num programa de modelação 3D um material, corresponde a um ficheiro que comporta toda a informação que se pode atribuir à superfície ou às faces de um objecto, atribuindo-lhe determinado aspecto. O material representa a forma como o objecto reflecte ou transmite a luz, afectando a sua cor, brilho, opacidade e textura, resumindo, toda a sua aparência (ver Fig. 211). As características transformam-se também consoante o tipo de iluminação aplicada na cena. Por sua vez as propriedades do material estão intimamente ligadas às propriedades da luz e a sua combinação é a principal responsável pela aparência realista do objecto (Barata & Santos, p.281).

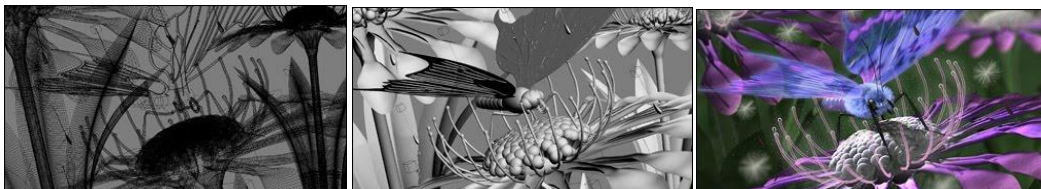


Fig. 211a/211b/211c - Modelo tridimensional em *wireframe* (a), sombreado (b) e imagem renderizada depois da aplicação de materiais e configuração do *layout* da cena (c) (Lehtinen 2009).

Consideram-se diversos tipos de materiais: básicos, mapeados, compostos e complexos. Existem materiais específicos com características completamente opostas destinados à utilização com mecanismos de *render* como

o *mental ray* ou *render man* e para utilização com *render* em tempo-real. No primeiro caso obtêm-se materiais foto-realistas e no segundo materiais com uma aparência mais sintética e menos realista. A vantagem destes últimos está em que à partida se espera que através de uma correcta utilização, estes permitam o *render* dos objectos em *frames* suficientes por segundo, de forma a poderem ser utilizadas em aplicações interactivas como os videojogos ou a cenografia virtual (Barata & Santos 2010, p.281; Luz 2002, parte III).

F.2.1.1 MATERIAIS BÁSICOS

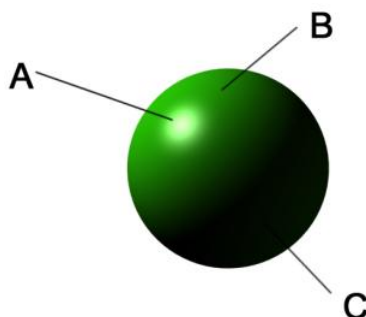


Fig. 212 - A - Cor especular (*Specular*); B - Cor difusa (*Diffuse*); C - Cor ambiente (*Ambient*) (Luz 2002, Parte III).

Os materiais básicos não possuem mapas activos ou seja não têm texturas (mapas) aplicadas. Quando aplicado o seu aspecto é de uma cor única e uniforme. No material actuam três componentes da cor: cor ambiente, cor difusa e cor especular com o objectivo de simularem a maneira como um objecto de uma só cor reflete a luz (ver Fig. 212). A primeira é a cor reflectida pelo objecto iluminado pelo ambiente, geralmente é escura pois representa a parte do objecto que fica na sombra. A cor difusa é a cor reflectida pelo objecto bem iluminado e corresponde à parte do objecto mais bem iluminada. E finalmente a cor especular representa o ponto de luz nos objectos brilhantes e geralmente localiza-se na parte do objecto perpendicular à fonte de luz principal. Estes materiais têm outras características tais como brilho, transparência, dupla face (aplicação do material

na face externa e interna da superfície), auto-iluminação e modo de arame (Barata & Santos passim).

Para a definição de como a luz é distribuída na superfície utilizam-se *shaders* (F.2.1.3) que controlam a maneira como a cor difusa, especular e ambiente actuam na superfície. *Anisotropic*, *Phong*, *Blinn*, *Strauss*, *Lambert*, *Cook-Torrance* são alguns dos sombreadores mais utilizados para caracterizar os materiais básicos. Cor e brilho definem-se também através de parâmetros como *Roughness*, *Glossiness* e *Soften*.

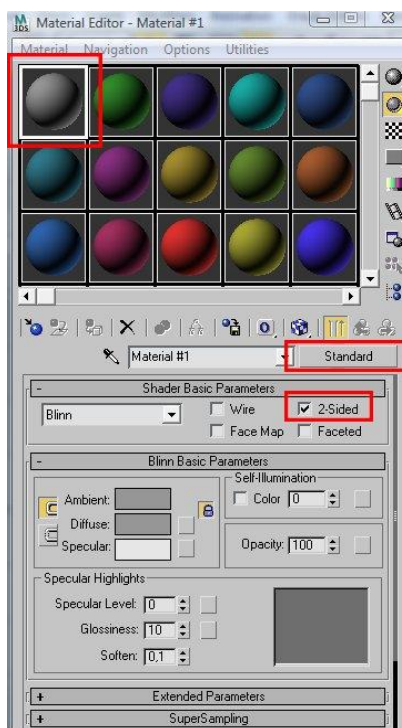


Fig. 213 - Caixa de diálogo utilizada na realização de materiais básicos no 3ds Max (Yalman 2010).

Para a criação de materiais translúcidos, vidro, plástico, celofane, etc, é preciso utilizar parâmetros que regulem o grau de opacidade do material e fazer com que o material seja aplicado dos dois lados da superfície (*double-sided*). Dentro da opacidade define-se o *fall-off*, isto é o ângulo do observador em relação

à superfície do material;⁸⁵ o tipo de opacidade, que nos pode dar materiais transparentes coloridos e maneiras diferentes de interagir com os objectos que estão por trás; o índice de refacção e os parâmetros de reflexão (Barata & Santos 2010, *passim*).

Os materiais auto-iluminados são utilizados sempre que se quer representar uma luz e podem ser usados para representar faróis de um carro ou lâmpadas. Os materiais *Wire* fazem com que o objecto seja visualizado como uma armação de arame, sendo esta armação constituída pelas arestas do objecto (ver Fig. 214). Também nesta situação se tem de escolher a aplicação do material nas duas faces, para que se vejam as arestas das superfícies interiores (Barata & Santos 2010, pp. 297-300).

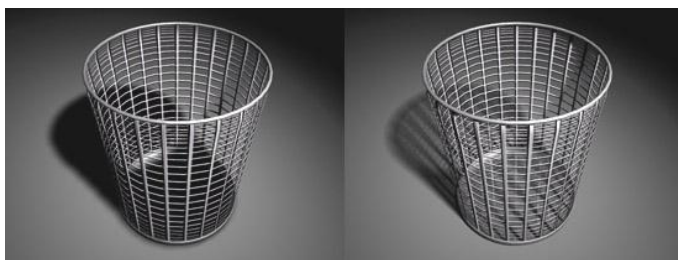


Fig. 214a/214b - Cesto de papéis realizado através da aplicação de um material em modo de arame - *Wire*. Em b) o objecto foi calculado com um algoritmo de *raytrace* (Elakiri.com, 2007).

F.2.1.2 SOMBREADORES - *SHADERS*

Os *shaders* (sombreadores) são pequenos programas que correm nas VPU's (*Visual Processing Units* ou *GPU Graphic Processing Units*) e que controlam as tarefas a executar dentro do programa de renderização antes, durante ou depois do processo de *render*, descrevendo a forma como a imagem deve ser rendida. Existem uma grande variedade de *shaders* que permitem criar uma grande variedade de FX, entre eles, efeitos de luz, atmosféricos (fogo e nevoeiro), texturas e superfícies de objectos (Luz 2002, parte III).

⁸⁵ é ainda possível fazer com que um material seja mais transparente no interior do que nas bordas conferindo-lhe maior realismo

Entre os diferentes tipos de *shaders*, temos os *vertex shaders* e os *pixel shaders*. Os primeiros manipulam os polígonos individuais que compõem os objectos 3D, enquanto os *pixel shaders* actuam nos píxeis individuais que preenchem os polígonos para criar as imagens. Os dois são utilizados para criar um abrangente e quase ilimitado leque de efeitos visuais. Os *shaders* são escritos utilizando uma variedade de linguagens diferentes de programação sendo as mais populares conhecidas por HLSL (Direct X 11.0) e GLSL (Open GL). Estas tornaram-se populares pelas suas semelhanças com a linguagem C e C++ utilizadas para programar os CPUs. Na Fig. 215, temos o exemplo da aplicação de um *vertex shader* para replicar as ondulações na superfície dos oceanos, entre outros exemplos temos o vento a soprar num campo de feno ou o movimento das folhas de árvore (Campbell, n.d.).

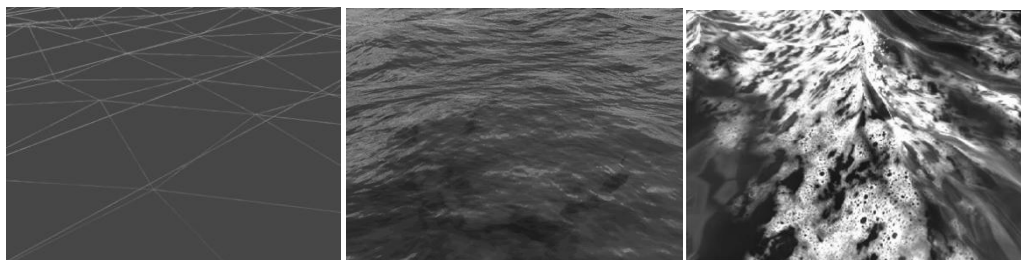


Fig. 215a/215b/215c - Aplicação de um *vertex shader* para modelação da superfície ondulante que simula a água. Através da aplicação de outros efeitos é possível chegar a um *rendering* final como o da imagem c) (Jensen & Goliás 2001).

Os *pixel shaders* actuam sob três tipos de instruções diferentes: instruções de vector (também conhecidas com instruções de cor), que operam nos três canais RGB simultaneamente; instruções de escala (também conhecidas como instruções alfa⁸⁶ que operam em apenas um canal; e as instruções de textura que escolhem e filtram texturas de maneiras muito diversas. Estes *shaders* têm de realizar diferentes tarefas até encontrarem o resultado final do pixel representado na imagem final. Cada uma das tarefas é chamada de *pass* ou *step*. Cada vez mais as unidades de processamento gráfico são modeladas aos

⁸⁶ O canal alfa é utilizado de diversas maneiras, dependendo do fim pretendido. Uma delas é a definição da área de transparência de cada objeto. Numa escala do preto ao branco, a área branca define onde o objecto deve ser mostrado e a preta onde ele deve ser transparente.

processos de *rendering* sendo que os *multipass pixel shaders* têm vindo a ser cada vez mais utilizados. Sempre que os *shaders* excedem os limites dos recursos existentes no *hardware* gráfico disponível, este tipo de *shader* revela-se de extrema utilidade pois permite dividir as tarefas de forma a não exceder os recursos disponíveis. Os píxeis passam pela *pipeline* de *rendering* multiplas vezes até que todas as operações com *shaders* tenham sido efectuadas. Este processo é geralmente mais lento e ineficiente para realizar o *rendering* em tempo-real mas é utilizado frequentemente pela indústria cinematográfica e de animação (Campbell, n.d.).

F.2.1.3 SHADERS DE ILUMINAÇÃO

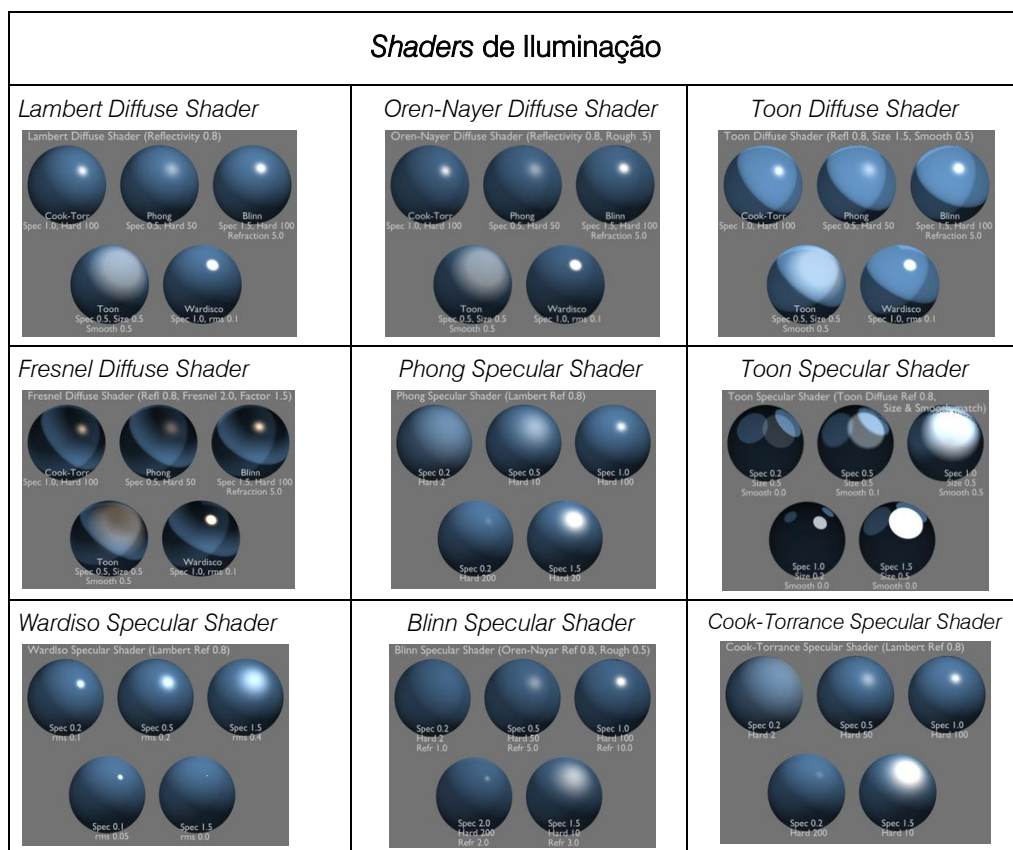


Tabela 2 - Diferentes possibilidades de aplicação oferecidas por sombreadores disponíveis no programa Blender (*blender.org*, 2009).

A forma como a luz é distribuída na superfície, é calculada por diversos algoritmos. Os resultados obtidos pela sua aplicação revelam-se de maneiras bastante diferentes criando diversos tipos de superfícies. Na Tabela 2, representam-se o tipo de resultados que se pode obter pela aplicação de diferentes sombreadores disponíveis no *software* Blender.

Inúmeras possibilidades são oferecidas quer pela afinação de parâmetros como pelas diferentes ofertas dos diferentes *softwares* e *plug-ins*. Importa especificar que todos funcionam com o objectivo de modificar o aspecto da superfície conferindo-lhes características diferentes. *Phong* por exemplo cria transições suaves entre as faces e apresenta realisticamente os pontos de reflexo de luz. Permite ainda visualizar efeitos de relevo, opacidade, brilho, cor especular e mapas de reflexão. *Blinn* uma variação de *Phong* faz os pontos de luz parecerem mais arredondados. *Oran-Nayar-Blinn* suaviza a fronteira das áreas de brilho, permitindo a criação de materiais como tecidos e terracota. Outros sombreadores destinam-se especificamente à criação de superfícies metálicas e orgânicas (nestes não se usa a cor especular) ou translúcidas (Barata & Santos, pp.294-295).



Fig. 216 - A aplicação de *shaders* diferentes na superfície do objecto pode conduzir a resultados completamente diferentes; na imagem da esquerda o material parece suave e aveludado enquanto na imagem da direita o material tem uma aparência fria e metálica (3dRender.com, 2001).

F.2.1.4. SHADERS PARA EFEITOS ESPECIAIS

Os *softwares* 3D incluem pacotes especiais com ferramentas especiais para criar efeitos especiais específicos tais como cabelo e pelos, água e explosões de fumo e fogo (ver Fig. 217). Este tipo de representações é mais difícil

de conseguir através das técnicas de modelação, texturização e iluminação e animação convencionais (ver secções F.2.2.2 e F.2.2.3).

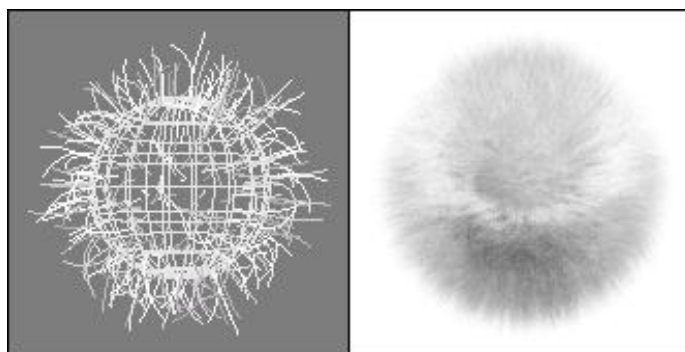


Fig. 217 – A utilização de *software* especial, permite obter este efeito de bola de pelo sem recorrer a uma modelação demasiado densa em termos de polígonos durante a execução do *render* (Lehtinen 2009).

Entre as ofertas possíveis temos *Shaders* usados para efeitos visuais na câmara, tais como, profundidade de campo ou desfocagem; *Shaders* para simular efeitos de nuvens, fumo ou fogo, quando aplicados a objectos; *Shaders* para simular desenhos animados conseguindo um efeito de um material não realista tipo *cartoon*; *Shaders* para aplicar no *pós-render* tais como desfocagem (*bluring*) ou filtros (*filtering*) que deformam/manipulam as imagens; e *shaders* para gerar efeitos volumétricos luminosos como por exemplo o nevoeiro amarelo gerado por uma lâmpada incandescente. Estes são só alguns exemplos entre uma variedade intensa de ofertas para a realização de FX.

F.2.2. MATERIAIS MAPEADOS

Materiais mapeados são materiais básicos aos quais foram aplicados padrões ou texturas. O facto dos mesmos terem de ser mapeados sobre as superfícies, através de um sistema de coordenadas que identifica o posicionamento da textura no objecto, levou a que se designassem esses padrões de mapas.

O mapeamento de texturas é uma das técnicas mais utilizadas para atribuição de características à superfície de um modelo 3D. A sua utilização tem uma vantagem adicional em relação aos outros materiais, pois na maior parte das situações elimina a necessidade de se criar nova geometria para se produzirem novos efeitos e resultados.



Fig. 218 - *Render* realista criado através da aplicação de materiais mapeados (*Okino Computer Graphics*, © 1995-2009 Okino Computer Graphics, Inc.).

Esta técnica é extremamente útil, quando bem aplicada em situações que exijam *rendering* em tempo-real como os video-jogos e a cenografia virtual. Permite não só simular materiais, texturas e relevos mas também reflexividade e refractividade de materiais pré-calculados em função do ambiente envolvente. Geralmente o tempo necessário ao *render* de materiais desta natureza é inferior ao dos materiais não mapeados, dependendo do tipo de *render* aplicado. Apesar dos resultados obtidos com estes materiais serem muitas vezes menos bem conseguidos do que aqueles aos quais foram aplicados algoritmos que simulam as leis da física, em determinadas situações o modelador dá preferência àquilo a que chamamos de “truques”, exactamente por permitirem um *rendering* em tempo-real ou simplesmente porque os objectivos se consideram atingidos.

Dentro da categoria dos materiais mapeados distinguem-se dois tipos essenciais com características bastante diferentes, as texturas processuais ou de procedimento (*procedural textures*) e as texturas com imagens. Geralmente

os materiais assim produzidos resultam da associação de mais do que uma textura com o objectivo de se obterem materiais mais complexos.

F.2.2.1 TEXTURAS PROCESSUAIS

As texturas processuais (ou de procedimento) são imagens geradas pelo processamento de um algoritmo com o objectivo de criar uma representação realista de materiais naturais tais como a madeira, o mármore, o granito, o metal e a pedra. O resultado natural das texturas geradas é conseguido através da utilização de funções matemáticas que procuram repetir a aleatoriedade encontrada na natureza. Estes padrões podem ter uma aparência 2D ou 3D e são geralmente mais fáceis de aplicar do que as texturas com imagens pois não necessitam de ser mapeadas de uma forma especial (ver Fig. 219). Podem cobrir grandes áreas arbitrariamente sem repetição e uma vez que são parametrizadas é fácil introduzir uma variação ao tema. Os detalhes podem ser “infinitos” sendo apenas limitados pela resolução da imagem.



Fig. 219a/219b - à esq. textura processual aplicada ao modelo de uma ânfora com aplicação de *perlin noise*, simulando mármore como material; à dir. texturas processuais 2D e 3D geradas por diferentes algoritmos (Carlson 2003, *section 19* & *SpinQuad Lightwave 3D Community*, 2005).

Sempre que se criam e aplicam texturas com relevos 3D através deste método, estas comportam-se como “geometria real”. Todos os pormenores

com arestas ou cortes nos objectos parecem reais, por exemplo, quando os objectos são cortados ao meio o resultado do *render* continua a ser correcto (ver Fig. 220).⁸⁷ Este método cria texturas mais precisas, especialmente quando as variações na profundidade e forma dos relevos, são de maior complexidade. Entre as vantagens da sua aplicação está também o facto de não possuir as limitações de resolução das texturas aplicadas com imagens, no entanto, é possível e frequente aplicar-se uma combinação dos dois métodos. Outro tipo de situações em que é preferível utilizar este tipo de textura incluem a repetição de pequenos objectos, onde se tornaria demasiado óbvia a utilização de um mesmo mapa de imagem e a aplicação em modelos complexos e difíceis de mapear através de coordenadas.



Fig. 220 - Texturas processuais realizadas com *Renderman*. A sua geometria comporta-se como “geometria real” independentemente do ângulo de visão e das interações que possam surgir com o objecto (*yaldex.com*, n.d.).

Aponta-se como desvantagem o facto de serem demasiado “perfeitas”, como consequência neste aspecto as texturas com imagens acabaram por se tornar mais utilizadas ao incluírem pormenores que as tornavam mais realistas. Contudo um novo método de conceber algoritmos para texturas de procedimento tem vindo a transformar a sua utilização. Aliada à indústria dos *videogames* a sua aplicação teve um forte impulso nos últimos anos, obtendo resultados impensáveis aquando das primeiras experiências com texturas processuais.

⁸⁷ Este tipo de textura também é conhecido por textura volumétrica.

F.2.2.2 TEXTURAS ANIMADAS OU DINÂMICAS

A classificação de texturas dinâmicas aplica-se a dois conceitos bastante diferentes. O mais simples implica a captação de imagens vídeo⁸⁸ para posterior aplicação sobre um qualquer objecto 3D (*looping animation*) e o segundo à utilização de texturas processuais concebidas para se comportarem de forma dinâmica ou animada. Exemplificando o primeiro conceito, temos a aplicação de animações e vídeos em objectos virtuais (geralmente monitores) simulados num cenário virtual e no segundo processo, aquele a que dedicamos esta secção, replicam-se virtualmente através de texturas processuais fenómenos aleatórios orgânicos tais como a ondulação da água, o movimento e evolução das nuvens, uma onda de calor, nevoeiro ou os diferentes estágios da evolução de uma explosão.

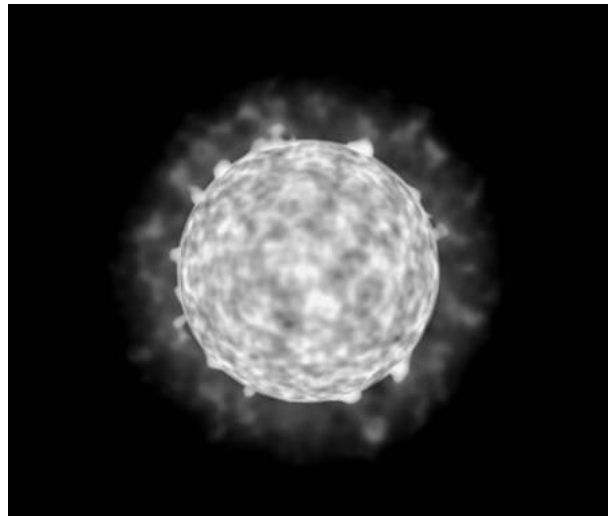


Fig. 221 – Nesta imagem o sol é apenas um quadrilátero ao qual foi aplicado uma textura dinâmica através de um *pixel shader*. Radiação, explosões na superfície e animação, são calculados através da aplicação de *Perlin Noise* (yaldex.com, n.d.).

⁸⁸ Estas imagens reais podem ser utilizadas sem qualquer transformação, editadas e trabalhadas em programas de edição de imagem (onde podem ser acrescentados efeitos especiais) ou ainda serem transformados através da aplicação de algoritmos que as transformam em padrões repetitivos com uma coerência a nível espacial e temporal. Os algoritmos aplicados permitem alterar o comportamento das texturas dinâmicas, criando animações com base em imagens reais tais como ondulações, chuva, o balançar de ramos de árvores, uma bandeira ao vento, a chama de uma vela, uma cascata, nuvens e até movimentos de multidões e tráfego (Soatto, S, Doretto, G & Wu, YN, 2001).

A maior parte das texturas de procedimento dinâmicas usam uma combinação de funções de ruído e filtros. O mais importante e mais utilizado, o Perlin 'Noise' foi inventado por Ken Perlin em 1982. O Perlin Noise usa uma função que utiliza a interpolação entre um número elevado de vectores gradientes pré-calculados para construir um valor que varia pseudo-aleatoriamente no espaço e/ou tempo. Este tipo de ruído transformou as texturas processuais demasiado perfeitas em texturas mais realistas, através da introdução de um método controlado de acrescentar aleatoriedade às superfícies geradas. A utilização do Perlin Noise exige mais passos na execução do *render* tornando o processo mais lento, no entanto, beneficia da utilização de ficheiros extremamente pequenos durante o complexo processo de produção de efeitos volumétricos animados (Cummins 2007).

As vantagens da sua utilização incluem não só a produção de animações aleatórias como a possibilidade de fazer com que outros objectos interajam com estas provocando reacções na animação. A título de exemplo, imaginemos as ondulações provocadas pela queda de um avião no mar ou o movimento rodopiante da vegetação sob a influência de um tornado. Fogo, lava, explosões e fumo são outros efeitos bem conseguidos através da utilização do Perlin Noise. Na simulação de explosões, diferentes texturas tridimensionais de ruído são aplicadas para representar os diferentes estágios do modelo incandescente (ver Fig. 222) (Spitzer, n.d.).

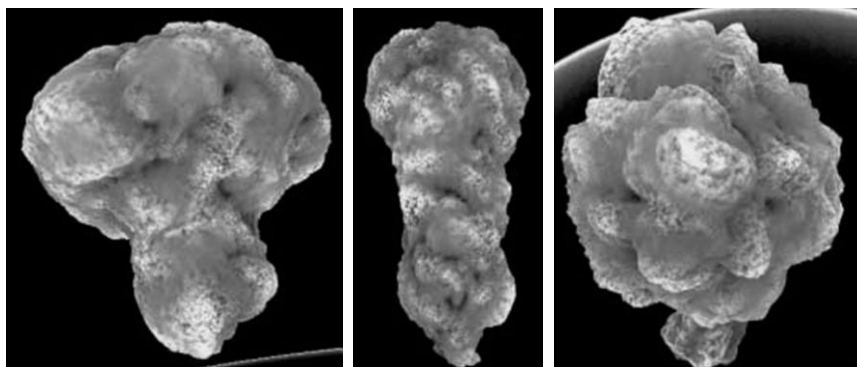


Fig. 222 - Diferentes valores de ruído permitem calcular os diferentes estágios de uma explosão (Spitzer, n.d.).

Plug in's especiais para produzir texturas processuais e outros materiais complexos introduzem ruído numa infinidade de maneiras pré-programada ou parametrizável pelo modelador (Fig.223a/223b). É possível controlar a frequência assim como a perturbação e o número de interações provocadas pelo ruído. Para criar animações cíclicas ou fluidas (flowing animations) o ruído é para além de outros parâmetros modificado em função do tempo (ver Fig. 223) (*IFW2 Textures for Lightwave*, n.d.).

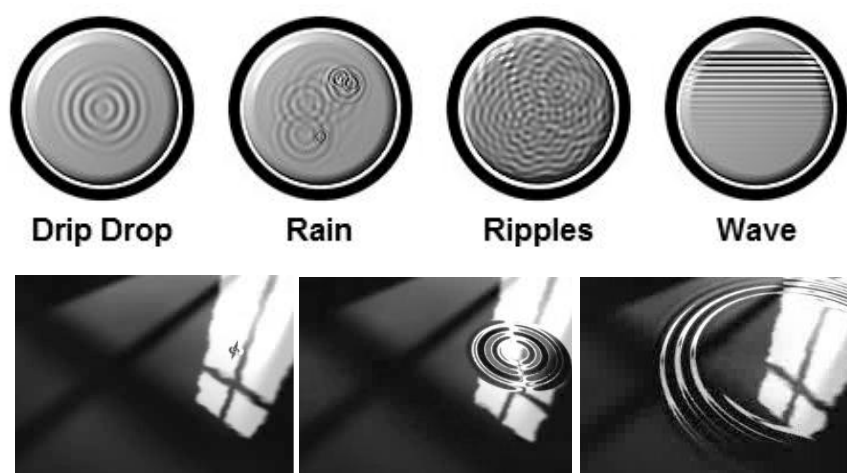


Fig. 223a/223b - O *plug-in IFW2_Organic Procedural Texture* apresenta quatro tipos de *shaders* de água. Este *plug-in* permite trabalhar a introdução do ruído a partir de texturas pré-programadas diversas, tais como texturas orgânicas, que simulam pele, mosaicos ou fractais. Em baixo imagens retiradas de uma animação realizada com este *plug-in* (*IFW2 Textures for Lightwave*, n.d.).

No processo, o ruído simples corresponde apenas a uma possível interação com a textura. Se o ruído for aplicado de uma forma repetida gera turbulência através da soma dos ruídos.⁸⁹ Os parâmetros de regulação do ruído permitem calcular a frequência, escala e a granulosidade com que a turbulência é utilizada para agitar a textura (ibid.).

Num gerador de texturas processuais introduz-se turbulência para dar uma função de ruído cíclica ao longo de um tempo determinado, da mesma maneira um outro tipo de algoritmo pode ser utilizado para se obter o efeito de

⁸⁹ Geralmente a soma dos ruídos é representada em *octaves*. Entre cada oitava a imagem vai sendo reduzida a metade do seu tamanho. Quanto mais oitavas mais pormenorizado se torna o ruído aplicado (Cummins 2007).

fluidez (*flow*). Este tipo de função permite modelar de forma mais complexa os movimentos de gases e líquidos (id.ibid.).

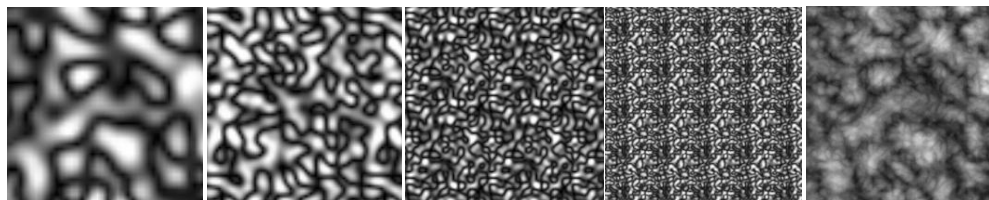


Fig. 224 – Texturas para aplicação do efeito de distribuição de ruído (*noise - turbulence*) em diferentes oitavas (Spitzer, n.d).

Na realização de uma animação com texturas processuais dinâmicas é preciso introduzir na função o parâmetro tempo. Quando aplicado na forma mais simples são gerados ciclos animados que chegado ao seu término repõem a posição original da textura reiniciando o processo. A velocidade de aceleração do ruído aplicado também é aplicada pelo utilizador assim como a forma mais ou menos pronunciada de actuar sobre a textura (*sweeping*). É ainda possível controlar a maneira como detalhes menores de ruído afectam pormenores maiores dentro da textura e criar animações onde o tempo deixa de ter um limite finito e a textura continua e evoluir em função do algoritmo aplicado (id.ibid.).

F.2.2.3 REAL TIME PROCEDURAL TEXTURES

A utilização de texturas de procedimento (processuais) no *rendering* em tempo-real é uma ideia com alguns anos, tendo sido apresentadas por Rhoades et al. em 1992 sob o nome *Real Time Procedural Textures*, na forma de diferentes tipos de aplicações de texturas processuais e de texturas processuais dinâmicas. No último impulso dado a esta técnica, a investigação dirigiu os seus esforços no sentido de obter texturas compatíveis com a criação de mundos complexos em 3D, ricos numa grande variedade de texturas e que favorecessem o *ratio* de FPS exigido pela fruição de videojogos ou mundos virtuais em alta definição. Os resultados obtidos, permitiram a pequenas e médias empresas a desenvolver *videogames* tornar os seus jogos bastante mais competitivos em relação às marcas institucionalizadas.

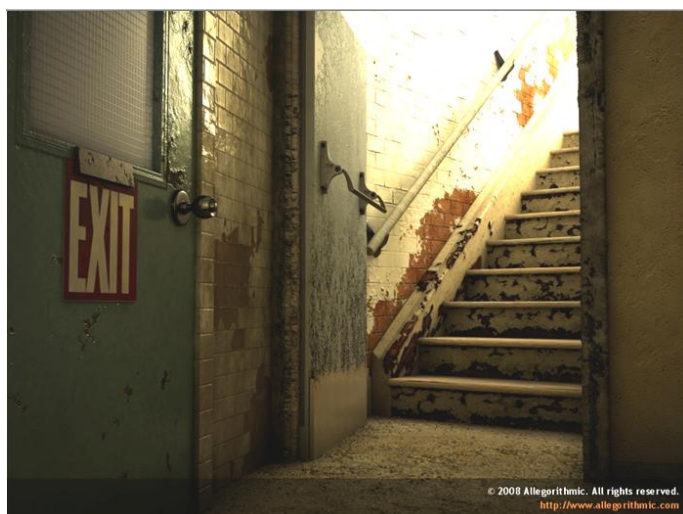


Fig. 225 - Imagem foto-realista produzida 100% com texturas processuais através da aplicação de *software* da empresa *Allegorithmic* (*Allegorithmic*, © 2003-2010 *Allegorithmic*).

Uma das empresas responsáveis por estes novos desenvolvimentos foi a empresa *Allegorithmic* (ver Fig. 225). Em 2006, ela reclama para si a invenção (patenteada) de um processo que permitiria reduzir o tamanho dos videojogos em 70%, sem redução da qualidade das texturas aplicadas. O seu objectivo, seria conseguir uma redução em 90% do tamanho dos ficheiros de texturas utilizados nos *videogames*, através da sua substituição por texturas de procedimento. Sebastian Deguy,⁹⁰ especialista em técnicas de procedimento, numa entrevista à *Bi-Tech* refere que a grande mudança se operou devido à aplicação da Matemática Moderna para a criação dos algoritmos. Os modelos matemáticos desenvolvidos por si na sua tese de Doutoramento, proporcionaram a concepção de algoritmos bastante mais complexos com um consumo de memória bastante inferior às suas precedentes. Através da sua empresa *Allegorithmic*, desenvolveu *softwares* com um *interface* amigável ao utilizador, cujas possibilidades criativas segundo entidades renomadas⁹¹ são de uma riqueza surpreendente. Deguy, afirma ainda, que as texturas processuais por si

⁹⁰ Director e fundador da empresa *Allegorithmic*.

⁹¹ Empresas associadas - Intel; nVidia; Sony; Microsoft; Dassault Systèmes; Luxology; Emergent; Epic Games; Virtools

desenvolvidas têm a vantagem de terem uma qualidade fotográfica (Garside, R 2006).



Fig. 226 - Imagem retirada do videojogo *Roboblitz* (2006) desenvolvido pela empresa *Naked Sky Entertainment* para a Xbox360, integralmente produzido com texturas processuais (Zwame forum, © ZWAME 2008-2010).

Para termos uma ideia das suas possibilidades em termos de memória Deguy afirma que ao trabalhar na aplicação de texturas processuais no jogo *Roboblitz*, onde cerca de 95% das texturas foram substituídas por texturas processuais, o jogo que inicialmente contava com cerca de 480 MB em texturas, quando operada a troca passou a contar com apenas 3MB em texturas. Este processo foi extremamente importante para que uma pequena empresa independente pudesse desenvolver um jogo capaz de rivalizar com os outros jogos comercializados para a Xbox (ibid.).

Numa vertente pouco explorada na últimas duas décadas, esta empresa desenvolveu ainda algoritmos específicos para aplicar o que Ken Kutaragi⁹² apelidou de “4D games”, jogos vivos ou jogos evolutivos. A maneira como as texturas são criadas implica que estas tenham um comportamento em permanente evolução ao longo do jogo. Entre as suas vantagens, está o facto de

⁹² Conhecido como o pai de da *playstation*, foi director executivo da Sony Computer Entertainment.

que as texturas vão sendo calculadas à medida que o jogo se vai processando, não sendo necessário armazenar dados em relação a estágios intermédios de evolução de um objecto tal como se faria com texturas de imagens (ver Fig. 227).

Sebastian Deguy exemplifica:

[s]o you can imagine a car hitting a wall, the car has a certain colour, shape, weight, speed. The physics engine then computes the impact vector field on the wall this vector field can be used to modify the textures in its inner properties and modify the normal map, the colour map, etc. according to all these parameters. Nothing has to be stored in the memory, it is all computed (Deguy cit. Garside 2006).

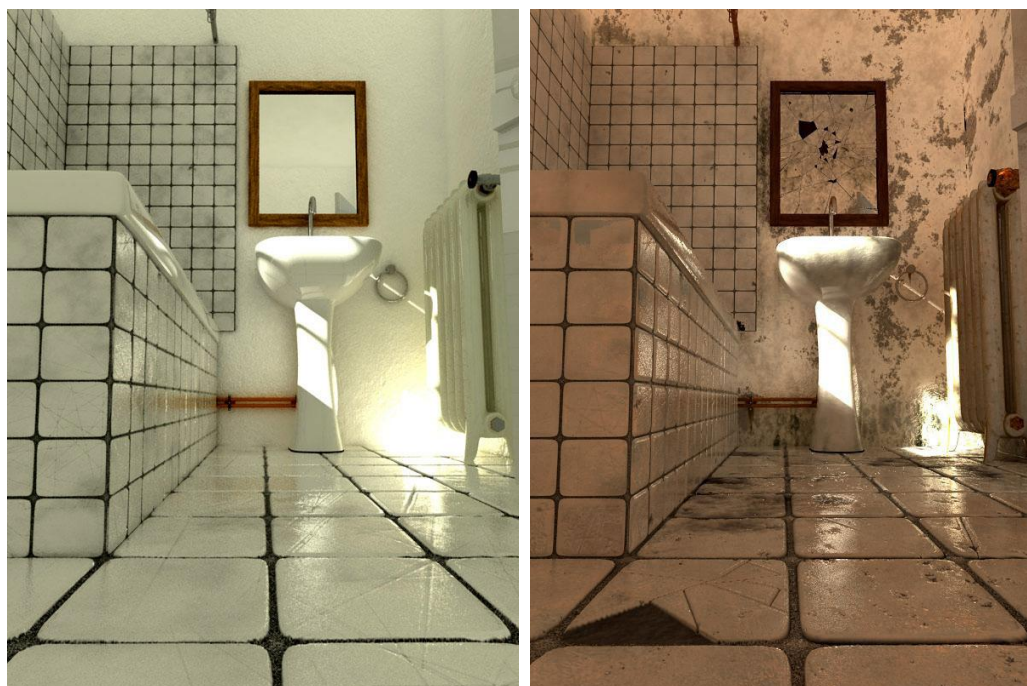


Fig. 227a/227b - A parte mais fascinante da aplicação desta nova geração de texturas processuais é o facto dos jogos poderem reagir ao ambiente como seres vivos. Plantas, cabelo e barbas crescem ao longo do jogo, tal como o sol nasce e se põe enquanto decorre a acção. Nestas duas imagens retiradas de um vídeo/demo criado pela empresa *Allegorithmic* vemos o antes e depois de uma casa de banho construída exclusivamente com texturas processuais dinâmicas, cujos algoritmos de cálculo alteram o seu comportamento em função do tempo decorrido (Allegorithmic, © 2003-2010 Allegorithmic).

Antecipando o tema da próxima secção, a utilização de texturas com imagens, temos que recentemente (Abril de 2010) a mesma empresa Allegorithmic lançou um novo *software* para redução e compressão do tamanho de

texturas de imagens já produzidas e aplicadas, melhorando substancialmente o desempenho dos jogos e eliminando algumas das suas limitações, especialmente no que respeito a jogos *online* e a jogos distribuídos através de *streaming*.⁹³ No caso de projectos já iniciados e em fase de desenvolvimento bastante avançado, a redução em 50% do tamanho das texturas acaba por ser o caminho natural uma vez que a substituição por texturas processuais poria em causa todo o trabalho já realizado. O processo de compressão de texturas tem aliás vindo a ser largamente utilizado nos últimos anos pela indústria dos videojogos (CGW.com, 2010).

F.2.2.4 TEXTURAS COM IMAGENS

As texturas com imagens ou mapas, utilizam ficheiros de imagem (*bitmaps*) para alterar a aparência das superfícies (*surfaces*). Os mais comuns são os BMP, PNG, JPG e TGA, mas também podem ser aplicadas animações sob os formatos MPG, AVI e MOV. O método mais utilizado de aplicação de uma textura com imagem, faz-se através da criação de uma imagem 2D que é posteriormente “embrulhada à volta” do objecto 3D (ver Fig. 228).

Contudo, desde as primeiras demonstrações de aplicações de imagens como texturas nos anos 70, que diversas outras soluções têm sido introduzidas produzindo resultados bastante diferentes. As superfícies lisas para além de cor e detalhes ganharam relevo e sombreamento de acordo com esses mesmos relevos (sem alteração da geometria), levando a que o *texture mapping* juntamente com o *normal mapping* se tornassem efeitos *standard* nos videojogos. Em 1999, Bishop; McAllister e Oliveira (2000), introduziram as *Relief Textures*, método baseado na informação da profundidade, que mais tarde viria a resultar nas técnicas de *Parallax Mapping* e *Steep Parallax Mapping* que permitiram pela primeira vez controlar as oclusões provocadas pelos modelos mapeados (*self-occlusion*) e sombreamentos correspondentes (*self-shadowing*). Estes métodos correm quase tão rapidamente nos modernos processadores como os seus

⁹³ *Streaming* ou fluxo, é a tecnologia que permite o envio de informação multimédia através de pacotes, utilizando redes de computadores, faz-se sobretudo na Internet.

predecessores mais simples, mas produzem efeitos muito mais realistas (McGuire & McGuire 2005).



Fig. 228a/228b/228c – a) modelo gerado a partir da técnica de *lowpoly* (realização de Ferran Adzarà Hernández; b) texturas associadas ao modelo; c) cena final depois de aplicadas as texturas (Hernández 2009).

F.2.2.5 MAPEAMENTO UV E UWW

Denominou-se de mapeamento UV à maneira como se mapeiam as texturas de imagens sobre modelos tridimensionais. Este método pode ser utilizado para aplicar padrões ou texturas de formas arbitrárias como cabeças de humanos ou animais (ver Fig. 229). Estas texturas são imagens criadas num qualquer programa de edição e criação de imagem e introduzidas no programa de modelação para aplicação sobre os modelos. Ao contrário das texturas processuais que se ajustam facilmente aos objectos, o mapeamento de uma imagem 2D pode tornar-se um processo complexo, consoante o objectivo pretendido. No entanto, este tipo de aplicação permite controlar *pixel a pixel* o resultado final.

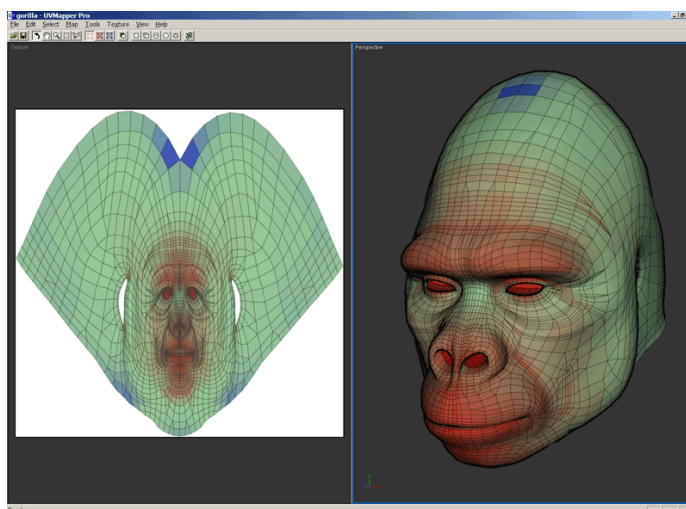


Fig. 229 - Mapa UV da cabeça de um gorila e aplicação no modelo tridimensional (UV Mapper, 2009).

Num mapa UV a cada polígono do modelo é designado uma parte da imagem, isto é, um determinado número de píxeis da imagem. Por sua vez cada vértice destes polígonos tem um par de coordenadas 2D que define que parte da imagem é mapeada. Este par de coordenadas bidimensionais é chamado de UV por forma a distinguir-se das coordenadas XYZ que definem o espaço 3D. A criação destes mapas UV é conhecida como “desdobraimento” (*unwarping*) e corresponde ao desdobraimento da malha poligonal que compõe o objecto tridimensional num plano 2D para que possa então ser feita a correspondência à imagem bidimensional (Autodesk Maya Help 2011, © 2000-2010 Autodesk). O mapa de UV pode ser gerado automaticamente por aplicações de *software*, realizado pelo artista ou ser uma combinação dos dois (ver Fig. 230). Frequentemente usa-se a primeira opção e depois ajustam-se, optimizam-se e corrigem-se os erros das costuras e sobreposições. Para se realizar o processo de *unwarping* e calcular as coordenadas de UV das faces estão disponíveis vários algoritmos que se aplicam consoante o tipo de formas presentes nos modelos tridimensionais. A máquina de *rendering* utilizada para o *output* final usa as coordenadas UV associadas a cada textura para determinar o que pintar em cada uma das superfícies tridimensionais.

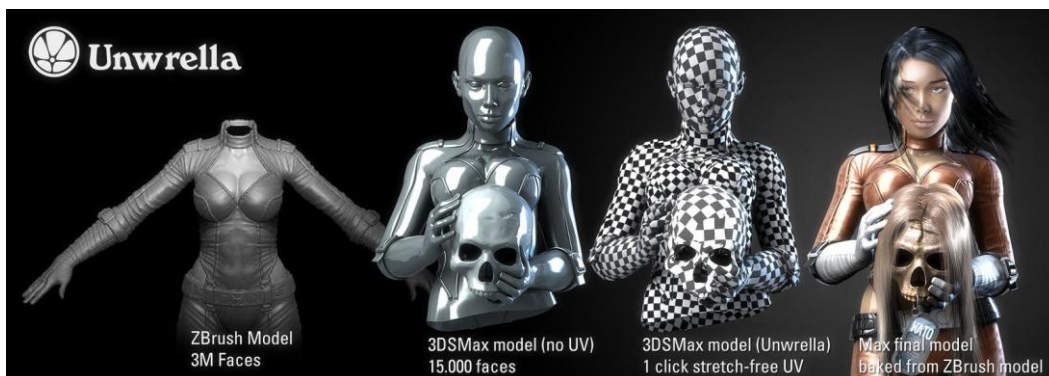


Fig. 230- O *plug-in Unwrella* para os programas *Autodesk 3ds Max* e *Maya* realiza o *unwrapping* de modelos tridimensionais automaticamente. O desdobramento do modelo é realizado em função da resolução dos píxeis da textura e utiliza as linhas de costura definidas pelo utilizador. Entre as suas vantagens estão também a redução da detectabilidade das costuras entre texturas e a minimização do aspecto de *stretching* das imagens para se adaptarem às formas 3D. É apropriado para a utilização em modelos orgânicos, humanos e industriais (*Update on Unwrella, 2008*).

O mapeamento UVW é uma técnica matemática para coordenar o mapeamento através de um sistema de coordenadas com 3 dimensões. Contrapondo a técnica de mapeamento UV mais adequada ao mapeamento de imagens bidimensionais traz como vantagem o facto de permitir que os mapas “embrulhem” de forma complexa as superfícies irregulares. Cada ponto de um mapa UVW corresponde a um ponto na superfície do objecto (Autodesk 3ds Max® 2011 Help, © 2000-2010 Autodesk). A maneira como a textura é utilizada em função do modelo é mais precisa do que pela técnica de UV, eliminando os típicos problemas criados em zonas mais escavadas do modelo. Desta forma o mapeamento UVW é especialmente utilizado em objectos irregulares como personagens, criaturas e peças de mobiliário.

F.2.2.6 TEXTURAS ALPHA

As texturas *alpha* são uma técnica utilizada para mapear (designar) no modelo 3D áreas transparentes ou translúcidas. O grau de transparência varia com base numa imagem de textura em escala cinza ou ainda no canal *alpha* de uma imagem de textura em RGBA. Nestas texturas geralmente preto significa

transparência total, branco opacidade total e os diferentes graus de cinza diferentes níveis de transparência.

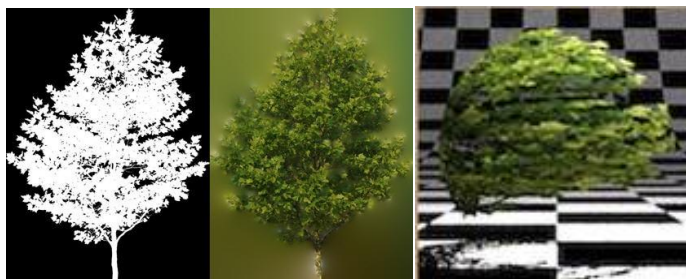


Fig. 231a/231b - Textura *alpha* para aplicar em conjunto com textura de imagem. Em b) vemos a aplicação das duas num material realizado no *software* Lux Render (Brito 2009a).

Estes mapas podem ser aplicados através do canal de transparência de um *shader*/material e servem para simular objectos como janelas, vidros ou água, basicamente qualquer objecto do qual se queira obter o efeito de “ver através” (ver Fig. 231). As texturas são feitas em programas como o Photoshop, a partir dos dados (coordenadas UV) retirados do modelo ao qual se aplicará a transparência. Em videojogos ou modelações *lowpoly* como a CV, os *alpha maps* são utilizados para criar a ilusão de modelações complexas.

Este método aplica-se frequentemente sobre planos, para simular modelos 3D através da forma de silhuetas de árvores ou de pessoas e permite obterem-se sombras sobre a cena. O facto de ser apenas uma textura sobre um plano poupa a utilização de muitos polígonos (ver Fig. 232).

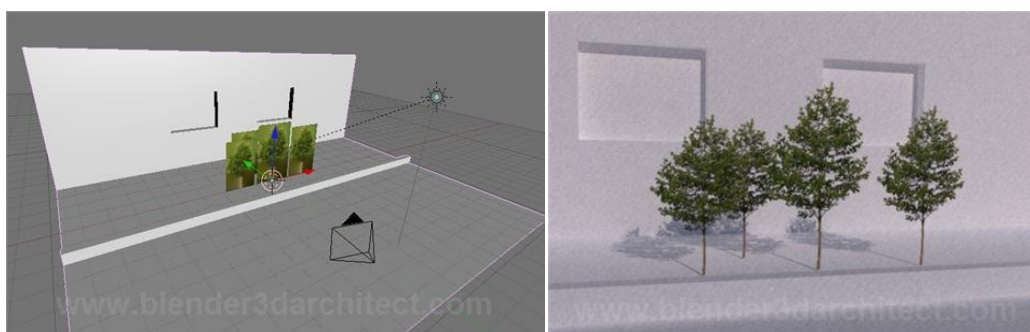


Fig. 232a/232b - Uma das características mais importantes para se obterem diferentes efeitos através da utilização das texturas *alpha* (*alpha maps*) é poderem-se calcular sombras através das zonas transparentes (Brito 2009a).

F.2.2.7 BUMP MAPPING

O efeito de *bump mapping* tem por objectivo simular rugosidades (depressões e elevações) nas superfícies mapeadas, através da ilusão de relevo sugerida por um jogo de luzes e sombras. Modificando a posição da fonte de luz, as sombras e os reflexos alteram-se de acordo com a nova cena dando uma boa ilusão de uma superfície irregular (ver Fig. 233). As texturas aplicadas aos objectos são definidas na escala de cinzas (*grayscale*) e têm como princípio básico para obter a ilusão de deformações nas superfícies dos objectos 3D a utilização da informação da escala da cor das imagens por cada *pixel*. Quanto mais escuro ou mais claro for o *pixel* do mapa da textura (*heightmap*) maior será a ilusão de profundidade ou relevo da superfície final rendida. No entanto, as texturas do tipo *Bump* servem apenas para a produção de pequenos relevos nos objectos, se as imagens forem renderizadas demasiado perto dos objectos a ilusão acaba por se perder (*Blender.org*, n.d. a).



Fig. 233a/233b - Modelo antes e depois de aplicado o efeito de *bump mapping* (rugosidade) (*Answers.com*, © 2010 Answers Corporation).

São quatro os princípios básicos para a aplicação de *bump mapping* e determinação da interacção do modelo 3D com as luzes da cena. Primeiro é realizada a correspondência entre os píxeis do *heightmap* (mapa de alturas) e a sua posição na superfície do modelo; em segundo é realizado o cálculo das normais ao mapa; em terceiro as normais ao mapa de relevos são colocados na sua posição correspondente na superfície do objecto e são achadas as novas direcções; finalmente é realizado o cálculo da interacção da nova superfície “relevada” com as luzes da cena através de um algoritmo. O resultado é uma superfície que parece ter profundidade real. Quando se faz o *rendering* do

objecto são determinadas as partes visíveis e é utilizada a trigonometria para calcular se o objecto interage de uma forma mais ou menos intensa com a luz proveniente de uma direcção específica. A luz que viaja perpendicularmente à superfície interage mais fortemente do que a luz rasante à superfície (*Bump mapping*, AbsoluteAstronomy.com © 2010).

Este tipo de aplicação de texturas não necessita de modelos com muitos polígonos para obter um efeito de relevo. As alterações na superfície do objecto não aparecem no modelo tridimensional apenas na imagem renderizada. Contudo esta técnica caiu de alguma forma em desuso depois da introdução do *normal mapping* e do *parallax mapping*, técnicas bastante mais realistas.

F.2.2.8 NORMAL MAPPING

A técnica de *normal mapping* ou *Dot3 bump mapping* é um aperfeiçoamento da técnica de *bump mapping* e serve para criar a ilusão de relevos e baixos-relevos iluminados. É utilizada sobretudo em modelos com uma baixa resolução de polígonos (*lowpoly*), com o intuito de lhes conferir uma aparência mais complexa e realista, reduzindo o tempo de processamento necessário ao *rendering*. Este efeito é conseguido através da pré-renderização do mesmo modelo com uma alta resolução poligonal ao qual são determinados os efeitos de iluminação da cena. A imagem conseguida através deste método é então mapeada ao modelo de baixa resolução obtendo-se um efeito semelhante ao produzido pela imagem obtida a partir do modelo de alta-resolução. Esta técnica tem como vantagens a utilização de modelos mais realistas em situações de *rendering* em tempo-real, como os video-jogos, a CV e aplicações de RV (ver Fig. 234).

Um mapa de normais (*normal map*) é geralmente uma imagem RGB onde cada um dos canais corresponde às informações referentes às coordenadas X, Y ou Z das normais à superfície retiradas de uma versão mais complexa do modelo. Para calcular a luz difusa da superfície, é detectado o vector da fonte de luz até ao ponto de sombra, sobre a direcção do vector normal à superfície. Cada canal do BMP corresponde a uma dimensão espacial (x,y,z), sendo estas

dimensões espaciais relativas a um sistema de coordenadas constante no espaço do mapa de normais ou no espaço dos mapas de tangentes às normais.⁹⁴ Utilizando esta técnica de 1 *bitmap* de 3 canais texturado sobre o modelo, é possível acrescentar um maior número de informações sobre o vector normal, adicionando muito mais detalhes à superfície do modelo, especialmente quando usada em conjunto com técnicas avançadas de iluminação (*Normal mapping*, AbsoluteAstronomy.com © 2010). Ao contrário da utilização de mapas de texturas pelo método de mapeamento tradicional, onde uma mudança na posição das luzes exporia o modelo a sombras não concordantes, a utilização desta técnica ao utilizar os vectores das normais à superfície para além do mapa da textura, faz com que o sombreado do objecto se modifique consoante a orientação do objecto e da iluminação.

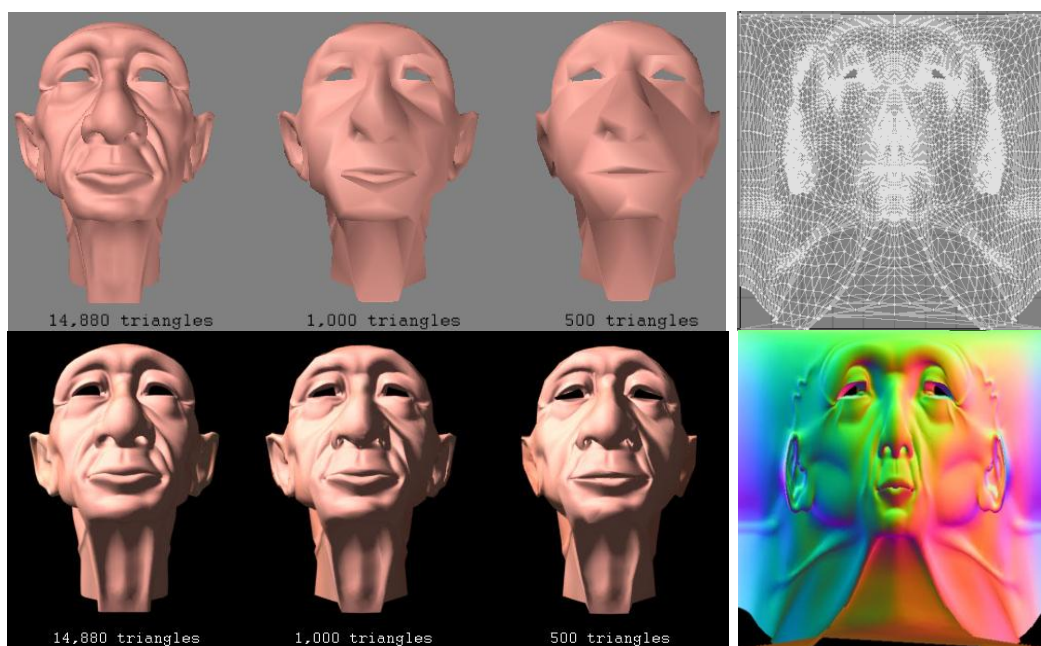


Fig. 234a/234b/234c/234d – a) modelo de alta resolução e dois modelos de baixa resolução de polígonos; b) *unwarp* do modelo de alta resolução para criação do *normal map*; c) à esq. *render* do modelo de alta resolução sem mapa aplicado, ao meio e à dir. modelos de baixa resolução com *normal map* aplicado; d) *normal map* do modelo criado por David Maas (*Lightwave Plugins for normal maps*, 2003.).

⁹⁴ Os dados sobre as normais verdadeiras à superfície são armazenados no mapa de textura para depois serem usados em equações de iluminação. As normais podem ser guardadas no espaço do objecto ou no espaço tangente, nos dois casos a luz tem que ser transposta para um destes sistemas de coordenadas. O espaço tangente é um sistema de coordenadas ligado à superfície local cujos vectores base são a Normal N perpendicular à superfície e a tangente T e binormal B que estão no plano tangente da superfície e são perpendiculares à normal.

A técnica de *normal mapping* a nível doméstico (*Playstation, Xbox, etc*) foi introduzida em 2003, e rapidamente se tornou das técnicas mais populares para *rendering* em tempo-real devido à sua excelente qualidade vs. tempo necessário ao processamento. Salvaguarda-se que a sua eficiência está directamente relacionada com a técnica de *mip mapping* (F.2.2.9).

F.2.2.9 MIP MAPPING

Os *Mip Maps* ou *Multiple Texture Maps* são utilizados numa técnica que selectivamente diminui o detalhe dos mapas de normais de uma textura, baseada num índice de distância do ponto de vista do observador ao objecto. Cada *Mip Map* é calculado de forma a ter metade do tamanho do primeiro, fornecendo diversos mapas de textura para diferentes níveis de profundidade. *Frame a frame* uma pré-filtragem calcula o tamanho do *Mip Map* a usar ver Fig. 235).



Fig. 235a/235b – a) cada sub-mapa é metade do anterior, no limite o último mapa tem o tamanho de um *Texel*⁹⁵; b) o mesmo mapa com diferentes níveis de resolução (*East India Company*, © 2009 Nitro Games Ltd).

A técnica de pré-preparação de *Mip Maps* veio conferir um maior grau de realismo ao permitir a utilização de uma textura com uma boa resolução quando o objecto é renderizado muito próximo. Se o mesmo mapa, de igual resolução, fosse utilizado para renderizar cenas complexas, o processamento tornar-se-ia demasiado pesado. A solução seria sacrificar o tamanho de todas as

⁹⁵ *Texel* (*Texture element*) é a unidade mais pequena de um mapa de texturas. Um *texel* pode corresponder a um *pixel* ou a mais do que um *pixel* quando a imagem está próxima. Se os objectos estiverem distantes um *pixel* pode conter uma média resultante de vários *texels*.

texturas de forma a que estas pudessem ser *renderizadas* em tempo-real, independentemente de se se tratar de um *close-up* ou de uma cena completa. A introdução desta técnica eliminou esse problema tornando-se extremamente importante em aplicações que exijam um processamento em tempo-real. A desvantagem da sua utilização está em que a passagem de um mapa para outro mapa em tempo-real é muitas vezes sentida pelo observador, perturbando a sensação de realismo conferida pela utilização de mapas com maior resolução.

F.2.2.10 DISPLACEMENT MAPPING OU “TRUE BUMP MAPPING”

Na aplicação de *Bump Mapping* ou *Normal Mapping* contornos e sombras facilmente denunciam a “falsidade” da textura. O *Displacement Mapping* ou *True Bump Mapping* surgiu como uma técnica capaz de controlar integralmente os problemas colocados pelas anteriores, nomeadamente oclusões, sombras, sombra própria e contornos. A grande diferença está em que esta adiciona efectivamente detalhes reais às superfícies modificando a sua geometria (ver Tabela 3). Enquanto *Bump Mapping* funciona apenas pela perturbação da normal à superfície para criar a ilusão de detalhe, o *Displacement Mapping* modifica a própria superfície deslocando os vértices dos polígonos em função do mapa de alturas aplicado, segundo uma escala de valores que é associada à superfície (*VRayDisplacementMod*, © 2001-2010 by Chaos Software Ltd. & Kautz; Seidel 2001).

A tecnologia de *displacement mapping* mais comum, subdivide as superfícies em polígonos muito pequenos que se deslocam ao longo das normais em função do mapa de textura, afectando directamente os vértices das malhas das superfícies. Este método implica a produção de inúmeros vértices e triângulos que têm de ser transformados e processados pela máquina de *render*. O processamento lento destes modelos impediu a princípio o seu *rendering* com *raytracing*. Mais tarde, como veremos mais à frente, a implementação de algoritmos específicos permitiram o *rendering* com deslocamentos a nível do próprio *raytracer* mantendo inalterado o número de polígonos da superfície (Smits, Shirley & Stark 2000). Esta técnica esteve durante muito tempo reservada à

indústria cinematográfica e de animação devido às limitações de processamento, mas à medida que o *hardware* gráfico foi evoluindo passou a ser possível aplicá-lo também em tempo-real numa forma limitada.

A introdução de subdivisão adaptativa⁹⁶ e implementações a nível da renderização a partir do *hardware*, melhoraram a velocidade de *rendering* das imagens. Todavia, estas continuam a ser bastante mais lentas do que as suas congéneres “falsas” e não são tão utilizadas em renderizações que exijam interactividade como as técnicas que não provocam deslocamento real dos polígonos.

O *hardware accelerated per pixel displacement mapping* foi a primeira técnica a conseguir um *displacement mapping* num sistema interactivo com *rendering* em tempo-real. Os algoritmos baseiam-se na utilização de *pixel shaders* e não dependem da introdução de mais vértices e consequente reestruturação da malha por subdivisão. Os mapas de deslocamento são analisados pelos *shaders* que procedem ao tipo de interpolação bilinear ou trilinear a nível dos pixéis, permitindo ao algoritmo utilizado o controlo detalhado da superfície. Os triângulos da malha poligonal são extrudidos ao longo da direcção da normal e os prismas resultantes são renderizados projectando raios no seu interior e intersectando-os com a superfície deslocada.⁹⁷ Como o processo de deslocamento se dá através do *shader* todos os filtros aplicados à textura podem ser utilizados (Kautz & Seidel 2001).

⁹⁶ “*Adaptive tessellation*”- a quantidade de subdivisões efectuadas nas superfícies, varia consoante se a imagem for renderizada mais perto ou mais afastada dos modelos e de acordo com o nível de detalhe necessário para a criação das novas superfícies. Ver F.3.8.

⁹⁷ Este tipo de mapeamento por interpolação bilinear também se realiza a nível de mapeamento de texturas sem deslocamento e é conhecido por *bilinear texture mapping*. O algoritmo é usado para mapear um *screen pixel* fazendo-o corresponder a um ponto no mapa da textura. Uma média ponderada é realizada a partir dos atributos dos 4 *texels* à volta e aplicada ao *screen pixel*. Este processo repete-se para cada pixel, fazendo com que o objecto seja texturado. O termo bilinear refere-se à realização de interpolações em duas dimensões (horizontal e vertical) ao nível dos *texels*, e aplica-se geralmente através da utilização de *mip maps*. Este tipo de técnica quando utilizada através de uma interpolação nas três dimensões (*trilinear interpolation*), horizontal, vertical e profundidade, analisa os dados de dois *mip maps* simultaneamente produzindo resultados ainda mais realísticos; no entanto, a nível de processamento é bastante exigente.


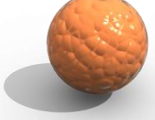
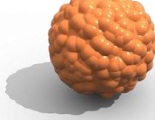
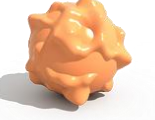

Material	<i>Bump Mapping</i>	<i>Displacement Mapping</i>		
				

Tabela 3 - O mesmo material ao qual foram aplicados diferentes efeitos de texturização através de *bump mapping* e *displacement mapping* (*VRayDisplacementMod*, 2010).

Dos diversos métodos, geralmente encontram-se duas categorias de *displacement mapping* através de *plug-ins* como o *VrayDisplacementMod* ou *DirectX Shader Model 3.0*: o *2D displacement mapping* e o *3D displacement mapping*. A experiência do modelador leva-lo-á a escolher o método que melhor se adequa aos seus objectivos mediante as possibilidades oferecidas pelo *software* e *hardware* a que se destina. A primeira técnica, o *2D displacement mapping*, é especialmente útil para a modelação de terrenos, montanhas e outras paisagens e realiza o deslocamento através da utilização de um mapa de textura. A superfície renderizada realiza o *warp* em função do mapa de alturas, podendo este ser proveniente de um ficheiro de imagem ou de uma textura de procedimento. Esta última tem a vantagem de conseguir reproduzir com mais fidelidade os detalhes do *displacement map* (ver Fig. 236).

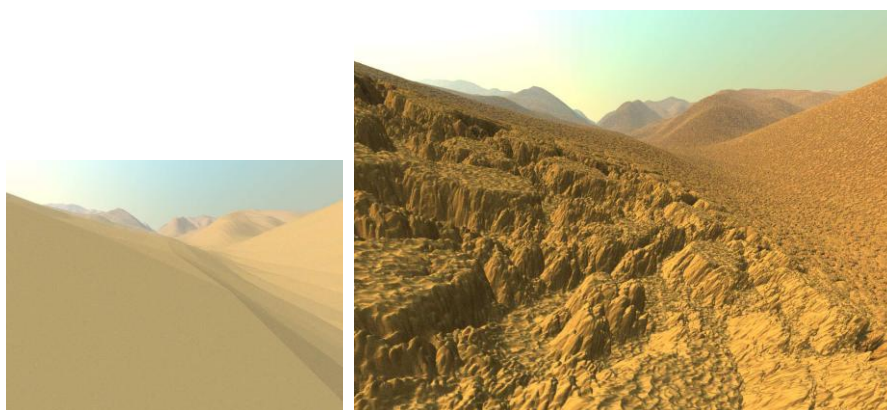


Fig. 236a/236b - Terreno realizado inicialmente com 110 000 polígonos ao qual foi aplicado um *2D displacement map* através de uma textura de procedimento, o resultado final ultrapassa um bilião de triângulos. Este tipo de mapeamento não poderia ser aplicado numa situação em que fosse necessário um *rendering* em tempo-real (Smits, Shirley & Stark 2000).

O *displacement mapping 3D* é um método geral, que como já foi referido pega na geometria da superfície original e subdivide os seus triângulos em sub-triângulos mais pequenos que são então deslocados. Pode ser aplicado com mapas de deslocamento arbitrário ou com qualquer outro tipo de mapas. Este tipo de *displacement* pode ser aplicado directamente no material do objecto. No entanto, é importante reter que em alguns casos, para que se adapte correctamente uma textura, é preferível proceder a uma subdivisão da superfície antes de se realizar o *displacement* (*VRayDisplacementMod*, © 2001-2010 by Chaos Software Ltd).

O tipo de texturas utilizados com *UV Mapping* adequa-se melhor ao tipo de deslocamento 2D enquanto que no caso do deslocamento 3D qualquer tipo de textura pode ser utilizado. Para a realização do *skining* dos personagens, as texturas processuais revelam-se mais adequadas pois rapidamente se adaptam aos movimentos dos modelos sem perda de qualidade (ver Fig.237).

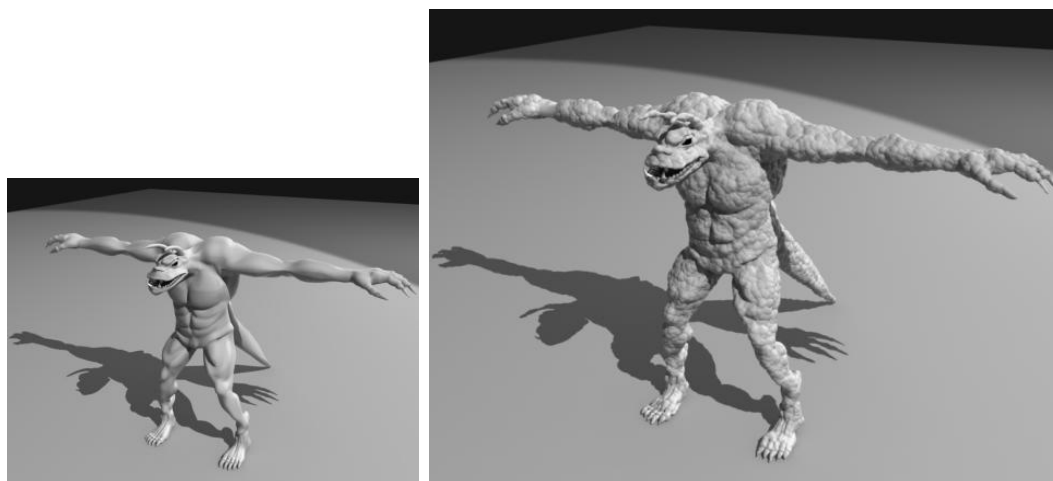


Fig. 237a/237b - Aplicação de uma textura de procedimento no deslocamento da pele do personagem (*VRayDisplacementMod*, 2010).

Comummente o nível de deslocamento é quantificado entre os níveis 0 a 1. Se quisermos que o deslocamento se faça abaixo do nível da *mesh 2D* ou que escave o modelo 3D os níveis inseridos devem se situar entre os parâmetros -1 e 1 (ver Fig. 238).

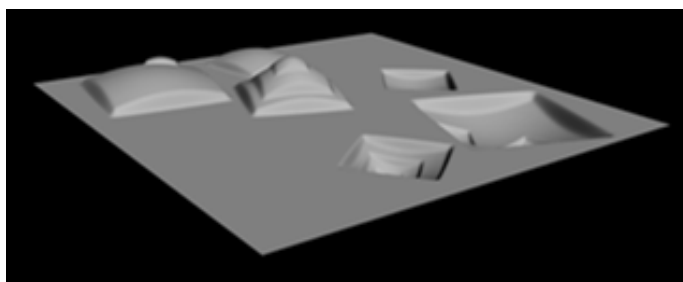


Fig. 238 - Deslocamentos efectuados numa superfície acima e abaixo do nível 0 (*VRayDisplacementMod*, 2010).

Outras possibilidades de *displacement mapping* introduziram o conceito de supressão parcial da geometria gerada por deslocamento, onde geralmente as partes mais escuras do mapa são suprimidas.⁹⁸

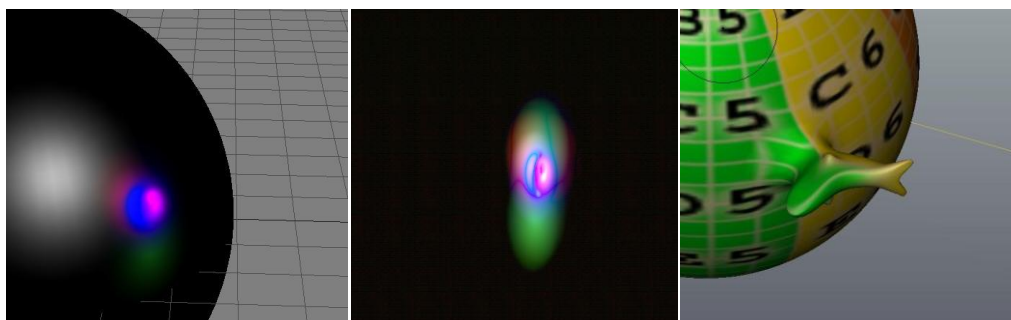


Fig. 239a/239b/239c - Em a) vemos como através da aplicação de um mapa de textura RGB b) e de um *shader* com *vector displacement*, se consegue alterar tridimensionalmente nas 3 direcções o resultado da superfície do modelo (c)(XSI Base.com © 2002-2009 XSI Base.com).

Com resultados ainda mais impressionantes, surgiu a técnica de *vector displacement mapping*. Este tipo de aplicação actua ao nível das máquinas de *render* o que torna o processo mais rápido. A utilização de mapas RGB substituindo os tradicionais mapas em *grayscale* permitiu a modelação rápida de formas extremamente complexas partindo de modelos bastante simples (ver Fig. 239). Eliminando as limitações dos deslocamentos baseados nas normais, as modificações actuam ao nível das 3 coordenadas. O nome *vector displacement* provém exactamente do facto de se utilizarem vectores para a representação das 3 direcções. Assim aos canais, *Red*, *Blue* e *Green* correspondem deslocamentos

⁹⁸ Podemos observar esta aplicação na Tabela 3 através do quinto exemplo.

nas direcções U, V e N (normais às faces) (*VRayDisplacementMod*, © 2001-2010 by Chaos Software Ltd).

F.2.3 OUTRAS TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DE MATERIAIS EXPLORADAS PELA INDÚSTRIA DOS VIDEOJOGOS E SUAS APLICAÇÕES SOBRE MODELOS *LOWPOLY*

A transformação que se opera presentemente com a passagem do sistema SDTV (*Standard Definition Television*) para o HDTV (*High Definition Television*), impulsionou fortemente o desenvolvimento das técnicas aplicadas na concepção de videojogos. Com uma imagem cerca de 7 vezes mais definida e 33% mais larga na horizontal, o utilizador obtém uma experiência completamente diferente na sua fruição. Este nível de qualidade levou a que também nos videojogos o consumidor tivesse o mesmo nível de expectativas. Jogar com imagens de alta resolução, com um número de *frames* por segundo “suave” e com detalhes mais realistas tornou-se essencial após o advento da técnica (Campbell, n.d).

F. 2.3.1 OS VIDEOJOGOS - PRODUÇÃO DE IMAGENS EM TEMPO-REAL

A modelação 3D tem vindo a desenvolver-se muito rapidamente devido às necessidades impostas pelo mercado dos videojogos. As constantes solicitações levaram a que surgissem jogos cada vez mais rápidos e mais complexos e fizeram com que toda uma indústria se desenvolvesse em torno da criação de ambientes virtuais navegáveis em tempo-real. Por outro lado, o mesmo aconteceu com o *hardware* disponibilizado para consumo doméstico que também teve de acompanhar o desenvolvimento do mercado.

Para esta indústria a prioridade tem sido tornar o jogo o mais imersivo possível para o utilizador. Em alguns casos com cenários específicos, chegou-se à conclusão que o trabalho estilizado funciona bem, mas nos jogos realistas é preferível que os objectos possuam o maior número de detalhes possível. Mundos com muitos pormenores facilitam a experiência de imersão e

umentam a ilusão de realismo. Assim, hoje em dia vemos os criadores de videojogos preencherem os seus mundos com objectos cativantes, iluminação correcta, sombras e sombras próprias, sendo que também a aparência 3D dos objectos passou a ser correcta independentemente do ponto de vista. É frequente termos igualmente uma sensação de cenário demasiado “irreal” ao trabalharmos com cenografias virtuais, nesta perspectiva utilizar as mesmas técnicas aplicadas nos videojogos, devidamente adaptadas, poderia levar o utilizador a experienciar um nível semelhante de imersão.

Jogos como o Mass Effect 2 (2009) e mais recentemente Heavy Rain (2010), apresentam resultados foto-realistas impressionantes (ver Fig. 241) quando comparados com jogos desenvolvidos há apenas cinco anos atrás como o Far Cry (2005) e o Half-life 2 (2005) (ver Fig.240). Para além dos grandes avanços a nível das luzes, sombras e reflexos, o aumento de detalhes quer nos cenários como nos objectos dinâmicos, os movimentos dos personagens (agora na maior parte das vezes resultado da aplicação do *Motion Capture*), tornaram a experiência do jogador muito mais imersiva. As imagens têm cada vez mais dados e estes por sua vez apelam aos diferentes sentidos do utilizador. Tais melhoramentos são em grande medida o resultado da aplicação das potencialidades das novas placas gráficas, da capacidade do *hardware* de lidar com mais informações (*hardware accelerated rendering*) e tal como referimos anteriormente de melhores algoritmos para a compressão de dados.



Fig. 240a/240b – a) FarCry (2005); b) Half Life 2 (2005) (a) Espaço do Gamer, n.d. & b) Game over, 2009)



Fig. 241a/241b - Mass Effect 2 (2009); Heavy Rain (2010) (O'Connor 2009 & Barlow 2009)

Para além da evolução do *hardware*, para obter estes resultados foram desenvolvidos diversos métodos, no sentido de rentabilizar o processamento dos dados e as necessidades de memória. Grande parte destes métodos estão associados ao mapeamento de texturas sobre modelações *lowpoly* e ao pré-cálculo de dados a utilizar em tempo-real. As limitações impostas pelo *rendering* em tempo-real,⁹⁹ são de ordem diversa e incluem a redução do número de polígonos na construção da cena ao número suportado pela máquina de *rendering*, o número de texturas utilizadas e o número e género de luzes a ser aplicadas.

Para Brito, a modelação *lowpoly* juntamente com a aplicação de texturas é a melhor forma de conseguir otimizar modelos 3D para *rendering* em tempo-real:

[o] melhor artifício para conseguir otimizar os modelos 3d para jogos é focar nas texturas. Por exemplo, quando um personagem precisa ser caracterizado com cabelos, podem ser usadas imagens com transparência (canal alpha), aplicadas em planos posicionados estrategicamente na cabeça do modelo. Na renderização a impressão que uma boa textura passa é tão boa quanto cabelos gerados usando partículas (Brito 2009b).

⁹⁹ Para um mínimo de qualidade na fruição de um videojogo são imprescindíveis pelo menos 20 FPS, isto é, torna-se indispensável para uma sensação de imersividade que o *hardware* seja capaz de processar pelo menos 20 imagens por segundo. No entanto, com os novos sistemas de HDTV exigem-se novos parâmetros de qualidade, tais como 60 FPS para os ecrans LCD e 70 a 80 FPS para os CRTs. A partir daqui o olho humano já não consegue detectar qualquer diferença na qualidade de imagem pelo que se torna desnecessário aumentar o nº de FPS (Campbell, n.d.).



Fig. 242 - Modelo *lowpoly* com aplicação de texturas como material para integração num videojogo: modelo de Luis António (*Musalive: The art of Luis Antonio*, © 2003-2009 by Luis Antonio)

Pudemos realmente constatar, que a modelação *lowpoly* é largamente utilizada conjuntamente com o mapeamento de texturas, *bump* e *normal mapping*, *mip mapping* e embora menos vezes, com *displacement mapping*. Mas outras técnicas foram surgindo devido às necessidades específicas das aplicações em tempo-real. Ainda que com objectivos bastante diferentes, ambos cenografia virtual e videojogos, partilham uma característica comum, o facto de necessitarem de um *rendering* interactivo. Esta secção dedica-se sobretudo à investigação dos desenvolvimentos emergentes aplicados na concepção de cenas para videojogos e que no futuro poderão de alguma forma ser uma área comum à Cenografia Virtual.

F.2.3.2. DIFERENTES MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE *PARALLAX MAPPING* E *RELIEF MAPPING*

O *Parallax*¹⁰⁰ *Mapping* (PM) foi introduzido em 2001 por Kaneko et al., como uma nova técnica que visava melhorar os resultados obtidos com *bump mapping* e *normal mapping*, através da utilização de texturas aumentadas na profundidade por *pixel*.¹⁰¹ A técnica implicava o deslocamento das coordenadas da textura num ponto do polígono gerado através de uma função do ângulo de visão

¹⁰⁰ O efeito de paralaxe obtém-se através do aparente deslocamento do objecto ou diferença na posição aparente do objecto, visto ao longo de duas linhas de visão diferentes. A medida é calculada pelo ângulo ou semi-ângulo de inclinação entre as duas linhas.

¹⁰¹ Técnica conhecida igualmente por *offset mapping* e *virtual displacement mapping*.

no espaço tangente¹⁰² e do valor do *height map* no mesmo ponto. Apesar de ser bastante eficiente e convincente em tempo-real tinha algumas limitações, entre elas o problema das oclusões. Melhoramentos posteriores à tecnologia incorporaram algoritmos para uma abordagem interactiva, conduzindo à determinação correcta de oclusões, sombras e silhuetas.

O *Steep Parallax Mapping*¹⁰³ foi um desses melhoramentos, fazendo com que as coordenadas da textura se tornassem mais deslocadas, dando a ilusão de relevos mais profundos devido a efeitos de paralaxe conseguidos pela mudança do ponto de vista (ver Fig. 243). Os algoritmos utilizados calculam a incidência dos raios de luz nos relevos e depressões virtualmente criadas pelo *parallax mapping*. Tal como a sua predecessora (PM) não provoca alteração da geometria real, pertencendo à categoria de técnicas utilizadas para a simulação de *displacement mapping* (McGuire & McGuire 2005).

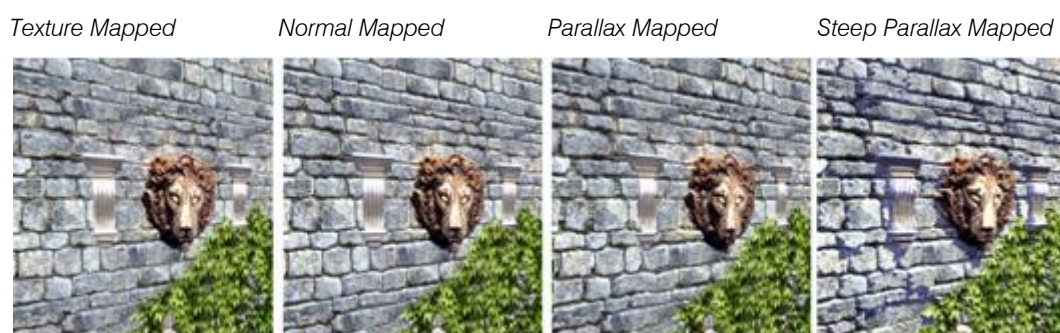


Fig. 243 - Comparação the quatro métodos de *bump mapping* aplicados a um quadrilátero simples (McGuire & McGuire 2005).

Trouxe como principais vantagens a capacidade de produzir oclusões próprias e sombras próprias em relevos aleatórios, o uso de filtros para a utilização de *mipmaps*, o *rendering* com qualidade de pêlo, relva e outras texturas semelhantes, valores correctos de profundidade do *buffer*¹⁰⁴ em superfícies com

¹⁰² ângulo relativo à normal da superfície

¹⁰³ Técnica conhecida igualmente por *Relief Mapping* ou *Parallax Occlusion Mapping*

¹⁰⁴ *Buffer* é uma região da memória temporária utilizada para escrita e leitura de dados; os *buffers* podem ser implementados no *software* (mais usado) ou no *hardware*.

relevos e a possibilidade de ser integrado directamente nas *pipelines* preparadas para os videojogos (ver Fig. 244) (McGuire & McGuire 2005).

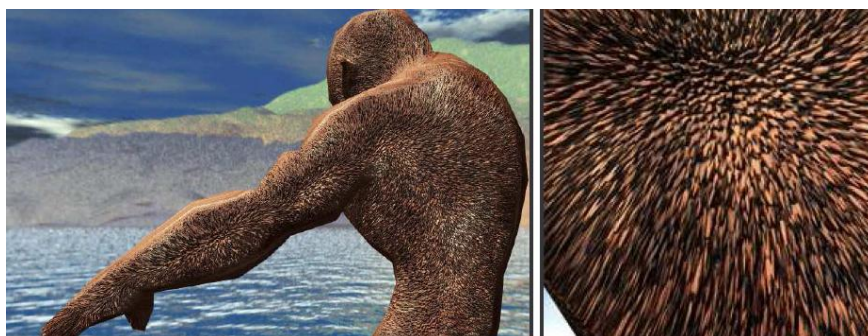


Fig. 244a/244b - Pêlo aplicado pelo método de *steep parallax mapping*; a imagem b) corresponde a um *close up* sobre um polígono (McGuire & McGuire 2005).

O facto de os resultados obtidos com *parallax mapping* serem superiores aos obtidos pelo *bump mapping* e *normal mapping*, levou a que esta técnica se tornasse hoje uma das mais usadas para *rendering* em tempo-real, mesmo tendo herdado o problema de “swim” da sua congénere *bump mapping* em que a textura parece deslizar sobre a superfície. Ainda assim, o *Steep Parallax Mapping* trouxe bastantes vantagens a nível do realismo conseguido, apenas que ao exigir mais processamento nem sempre podia ser o método escolhido.

Antes mesmo do *Steep Parallax Mapping* ser implementado na indústria dos videojogos, havia sido apresentada em 2000 uma técnica promissora a *Relief Texture Mapping*. Esta no entanto, produzia resultados imprecisos na produção de modelos finos, como cabelos, relva ou letras, pois os cálculos efectuados sobre este tipo de objectos por este método nem sempre eram correctos. Surgiu como uma alternativa à *parallax mapping*, suportando sombras próprias, *normal mapping*, oclusões criadas pela textura e silhuetas. Apesar de produzir silhuetas correctas em 3D não podia ser utilizada em tempo-real pois era extremamente exigente a nível de processamento. A existência de uma superfície 3D é simulada utilizando técnicas de *image warping*, permitindo obter vistas correctas geometricamente ricas, realizando-se o *render* de um número de polígonos texturados reduzido. Este tipo de texturização suportava *close-ups* sem

grandes distorções e a técnica de *mip mapping* e filtros anisotrópicos¹⁰⁵(Bishop, McAlister & Oliveira 2000).

Em 2005, Policarpo et al., apresentaram um novo desenvolvimento da técnica de *Relief Mapping* para aplicação em tempo-real, o *Real Time Relief Mapping on Arbitrary Polygonal Surfaces*. Nesta abordagem o *mapping* dos dados do relevo passa-se no espaço tangente permitindo aplicações sobre representações poligonais de superfícies curvas. Esta técnica produzia oclusões próprias, interpenetrações, sombras, permitia a aplicação de efeitos *standard* de iluminação por *pixel* e filtragem anisotrópica, assim como a utilização de *mipmaps* (ver Fig. 245). Tendo como objectivo a utilização em tempo-real, introduz a possibilidade de aplicação de texturas a modelos geométricos que sofressem deformações como é o caso dos personagens animados dos videojogos. Por outro lado, tal como a sua predecessora não produz bons resultados no *rendering* de superfícies finas como o cabelo, o pêlo e a relva e não acrescenta detalhes à silhueta.



Fig. 245a/245b/245c – a) modelo do bule de Utah ao qual foi aplicada a técnica de *Relief Mapping*; b) textura com sombras pré-calculadas e luz difusa colorida; c) mapa de profundidade (Policarpo, Oliveira & Comba, 2005).

O algoritmo utilizado nesta técnica baseia-se no cálculo por interpolação binária para encontrar a intersecção entre o raio e a altura do relevo. A superfície encontrada por este método após filtragem é contínua permitindo efectuar *close-ups* detalhados e realistas. O facto de ter uma fácil implementação nas *pipelines* levou a que a mesma fosse implementada nos videojogos.

¹⁰⁵ A filtragem anisotrópica é um método de filtragem de texturas complementar à filtração bilinear ou trilinear, só que ao contrário destas a filtragem anisotrópica funciona num padrão de alongamento que varia conforme o ângulo de visão e o tamanho que a imagem ocupa no ecrã.

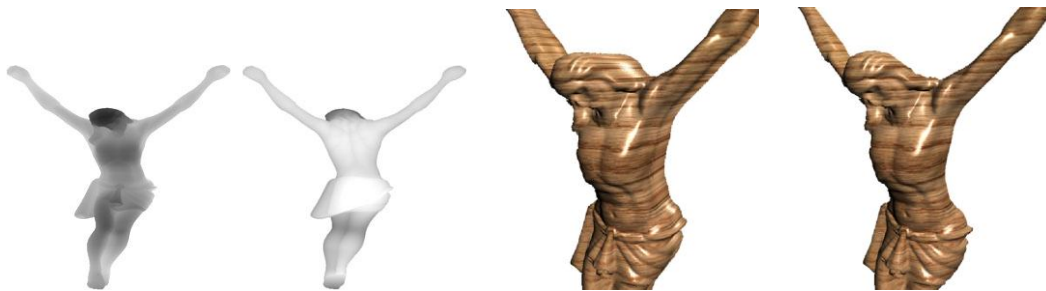


Fig. 246a/246b/246c/246d – a) e b) mapas de profundidade; c) imagem renderizada com utilização de apenas um mapa de profundidade (notem-se as indefinições nos limites da figura); d) figura renderizada pela técnica de *Relief Textures* com aplicação de dois mapas de profundidade e uma textura para simular madeira, os contornos tornam-se mais definidos pela aplicação de mais do que um mapa de profundidade (Policarpo, Oliveira & Comba, 2005).

No mesmo documento, Policarpo, Oliveira e Comba (2005), avançaram ainda com um método de aplicação de dois mapas de profundidade que permitia representar objectos 3D utilizando uma única textura. Os *renders* destes objectos podiam ser gerados a partir de um único polígono, produzindo-se impostores dinâmicos utilizáveis sob um ângulo de visão considerável (ver Fig. 246).¹⁰⁶

Entre outras ideias que foram surgindo, todas elas partilham uma ideia comum: a aplicação de um *displacement* a objectos através de um *pixel shader* tratando o mapeamento com um problema de *raytracing*.

O *Iterative Parallax Mapping with Slope Information* surgiu como mais uma proposta para melhorar a técnica de *Parallax Mapping* tentando alcançar os resultados obtidos com o *Relief Mapping*, contudo, os seus resultados apesar de superiores ao PM resultavam inferiores aos do *Relief Texture Mapping*. O seu método baseava-se na repetição dos passos efectuados pelo PM em 3 ou 4 vezes, aumentando o rigor dos resultados obtidos no cálculo do *displacement* (Premecz, M 2006).

¹⁰⁶ Recentemente Policarpo & Oliveira (2007) publicou uma nova técnica para aplicação de *Relief Textures*: a *Relaxed Cone Stepping for Relief Mapping* reduz substancialmente os problemas dos métodos anteriores, tornando-a uma técnica mais atractiva para aplicação de detalhes nas superfícies de objectos 3D. No entanto, continua a ter uma difícil implementação em cenários para jogos.

O *Per-Pixel Displacement Mapping With Distance Functions* utiliza como fonte uma textura tridimensional que armazena por cada *voxel*¹⁰⁷ a distância ao ponto mais próximo na superfície a ser visionada. O método baseia-se na técnica de *sphere tracing* (Hart 1996), desenvolvida para acelerar o *raytracing* de superfícies implícitas (Donnelly 2005).

O *View Dependent Displacement Mapping* (VDM) foi proposto em 2003 por Wang et al., a técnica baseava-se no pré-cálculo da distância de cada ponto deslocado à superfície de referência. Estas distâncias eram calculadas através de diversas amostras calculadas a partir da direcção de muitos pontos de vista. O resultado representava-se por uma função com 5 dimensões, esta ficou conhecida por VDM e trazia a vantagem de poder ser utilizada em tempo-real. Como desvantagens tinha a necessidade de compressão de grandes quantidades de dados na memória da placa gráfica, a exclusiva utilização em superfícies fechadas e algumas distorções nas texturas. A técnica destinava-se sobretudo a *renderings* realizados a uma certa distância não sendo apropriados para *close-ups* (ver Fig. 247).

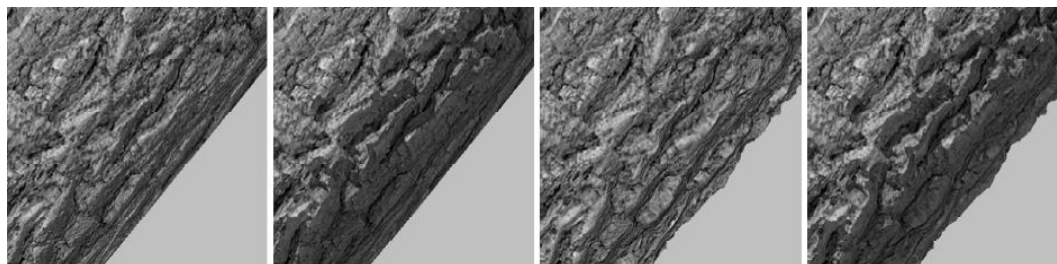


Fig. 247a/247b/247c/247d – a) *Bump Mapping*; b) *Horizon Mapping*¹⁰⁸; c) *Displacement mapping* convencional; d) *View-dependent displacement mapping with self-shadowing* (Wang et al. 2003).

Em 2004, Wang et al. apresentam outro tipo de representação com 5 dimensões chamado *Generalized Displacement Map*, este tinha por objectivo a redução do problema de distorção das texturas e a introdução da utilização de superfícies abertas. Da mesma maneira, partilhava do problema em relação à

¹⁰⁷ *Voxel* ou *volume pixel* é um *pixel* tridimensional, representa a quantidade de informação 3D tal como um *pixel* representa um ponto em informação 2D; é bastante utilizado em aplicações médicas e científicas de processamento de imagens.

¹⁰⁸ Uma das primeiras técnicas utilizadas para simular sombras interactivas em tempo-real.

compactação de dados. A inovação nesta técnica verificava-se pela utilização do ponto de vista para a determinação do *displacement* em vez da direcção da normal à superfície. Produzia um *rendering* eficiente, com uma aparência visual rica, com sombras próprias, oclusões e silhuetas, sem aumentar a complexidade da *mesh* da superfície final. Tal como as outras propostas, a VDM baseia-se no processamento por *pixel* mas desta feita com aceleração por *hardware* (o algoritmo é implementado no *hardware*).

Em 2005, Porquet et al., com o *Real-Time High-Quality View Dependent Texture Mapping using Per Pixel Visibility*, propõem uma variante da *View Dependent Texture Mapping* de Debevec, Yu & Borshukov (1998), com o objectivo específico de realizar o *rendering* em tempo-real de objectos 3D complexos compostos por um elevado número de triângulos.

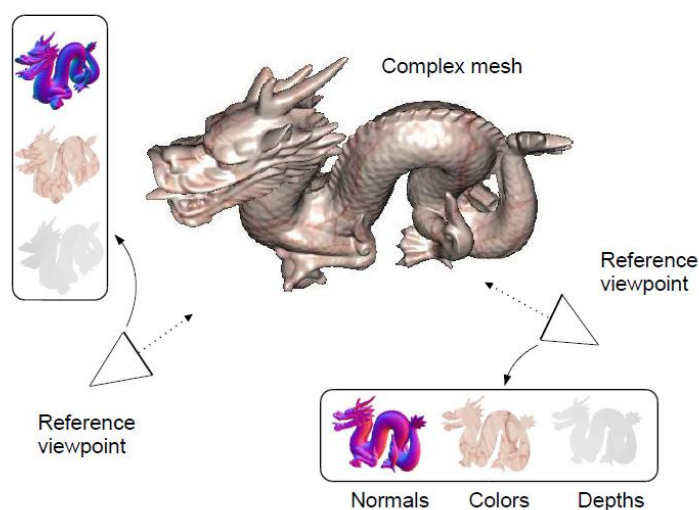


Fig. 248 - *Real-Time High-Quality View Dependent Texture Mapping using Per Pixel Visibility*; a cada ponto de vista correspondem 3 tipos de texturas: mapa de cor, mapa de profundidade e mapa de normais (Porquet 2005).

Revendo a técnica de Debevec, Yu & Borshukov (1998), esta tinha por objectivo obter outras vistas de uma cena utilizando apenas um conjunto de fotografias de referência (pontos de vista de referência) e uma malha simplificada da geometria da cena. Esta malha era construída a partir das fotografias que eram posteriormente mapeadas sobre a superfície. A técnica permitia obter novos

pontos de vista a partir da fusão das fotografias, que por sua vez era calculada a partir da média ponderada das cores baseada na proximidade dos pontos de vista de referência, a partir de pontos de vista virtuais. Esta técnica trazia contudo problemas de *blurring*, imagens fantasma e saltos. Mudar a iluminação era quase sempre uma impossibilidade.




		
Malha original: 1.1 M 50 FPS	Malha simplificada: 6K 2000 FPS	Após aplicação do método 606 FPS

Tabela 4 – Resultados obtidos através do método de *Real-Time High-Quality View Dependent Texture Mapping using Per Pixel Visibility* (Porquet 2005).¹⁰⁹

O novo método proposto por Porquet et al. (2005), realizava a substituição de complexos objectos 3D de uma cena, por versões geométricas simplificadas através da aplicação de um algoritmo de *rendering*. Tinha por objectivo conseguir a melhor qualidade de imagem possível na comparação com o modelo original. Para obter as malhas simplificadas aplica-se um algoritmo de simplificação e para a aplicação da textura é realizado um pré-processo no qual alguns pontos de vista estratégicos são armazenados. A aquisição dos dados faz-se através de uma navegação à volta do modelo mais complexo, ao qual se tiram algumas “*snapshots*”¹¹⁰ que são armazenadas como texturas. Geralmente são escolhidos um número não muito elevado de pontos de vista de referência¹¹¹ dependendo da complexidade do objecto. Estes pontos de referência em relação

¹⁰⁹ Experiência realizada no *Stanford Graphics Laboratory*.

¹¹⁰ Neste contexto - *renders* foto-realistas de alta qualidade.

¹¹¹ No caso do dragão (Fig.248) são utilizados 9 e no caso do buda (Tabela 4) foram aplicados 7.

ao objecto são armazenados e associados ao modelo simplificado. Durante o *rendering* final é apenas necessário utilizar 3 pontos de referência para aplicar o algoritmo de reconstrução que calcula a cor e profundidade de cada pixel renderido. Na realidade, a cada ponto de vista de referência correspondem 3 tipos de texturas: mapa de cor, mapa de profundidade e mapa de normais (ver Fig. 247 e 248).

A reconstrução do modelo complexo passa por seleccionar os melhores pontos de vista de referência de forma a calcular a luz e profundidade de cada *pixel* rasterizado pelo *pixel shader*. Esta técnica implementa a projecção de sombras e sombras próprias, adaptando-se facilmente a mudanças de iluminação na cena. Em relação à técnica anterior o processo foi simplificado, a qualidade do *render* melhorada e eliminou-se o *blurring* decorrente da união das imagens (recorrente nas técnicas de *Image Based Rendering*).

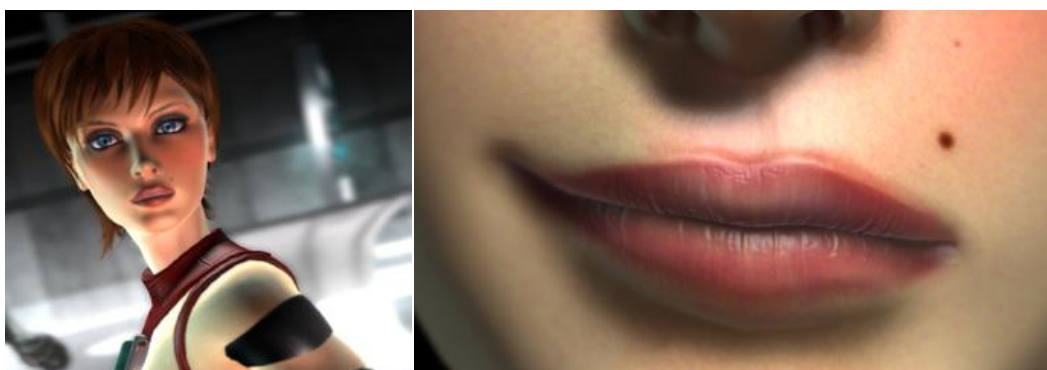


Fig. 249a/249b - Personagem de *videogame* renderizada com *soft shadows* (Campbell, © 2010 Heaven Media Ltd).

Fortemente implementada no mercado, fechamos esta secção com a técnica mais utilizada actualmente, o *Dynamic Parallax Occlusion Mapping with Approximate Soft Shadows*. O método proposto elimina as necessidades de pré-armazenamento de *data*, uma vantagem em relação a outras técnicas semelhantes. A técnica realiza o *raytracing* por *pixel* através de um algoritmo baseado no cálculo do *inverse displacement mapping*¹¹² e permite o *rendering*

¹¹² O *Inverse displacement mapping* é uma variante do *displacement mapping* que não chega a modificar a superfície mapeada.

interactivo de superfícies com deslocamento com luzes dinâmicas, sombras suaves, oclusões próprias e paralaxe em movimento. Introduce também uma significativa melhoria na qualidade das imagens produzidas em ângulos razantes (Tatarchuk 2006c).

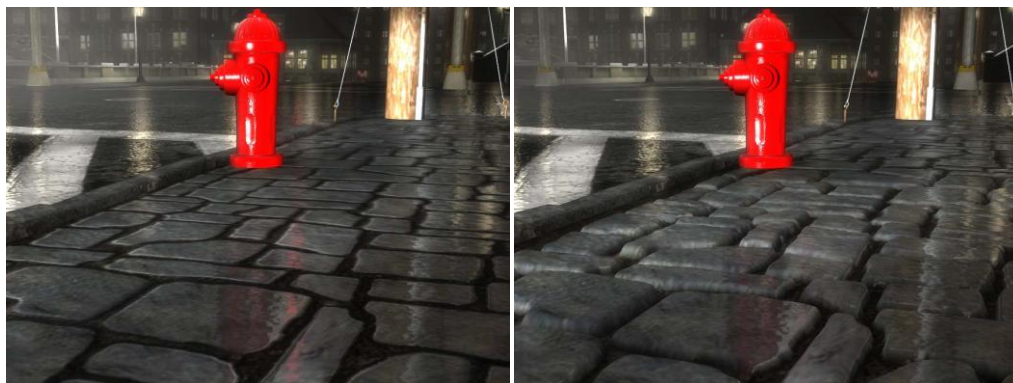


Fig. 250a/250b - Na imagem b) ambos, bomba e passeio, foram renderizados com *parallax occlusion mapping*; a) o mesmo exemplo apenas com *normal mapping*; o *parallax occlusion map* permite ainda utilizar mapeamento de sombras nas superfícies e calcular dinamicamente reflexos dos objectos na cena (Tatarchuk 2006a).

O desenvolvimento deste sistema de *Parallax Occlusion Mapping* introduziu a avaliação da incidência da luz nas superfícies com *displacement* permitindo a computação em tempo-real de *soft shadows* decorrentes de oclusões próprias dos objectos e introduziu também pela primeira vez um sistema de controlo de LOD¹¹³ automático para gerir a complexidade que o *shader* suporta em tempo-real (ver Fig. 250). Este controlo permite produzir transições de LOD suaves evitando os habituais saltos e fantasmas. O aperfeiçoamento da técnica foi realizado em função do aproveitamento total das vantagens oferecidas pelas novas unidades de processamento gráfico e da eficiência das *pipelines* para processamento de píxeis e texturas. A única limitação continua a ser a falta de silhuetas detalhadas que acabam por denunciar a geometria de baixa resolução que está realmente a ser renderizada (Tatarchuk 2006b).

¹¹³ *Level of Detail*

F.2.3.3 OUTROS TIPOS DE MAPEAMENTO

Existem diversos outros tipos de mapeamento que permitem reduzir o tempo de *rendering* de uma imagem, nomeadamente os *reflection* ou *environment maps* dentro da categoria do *Imaged Based Lighting*. Este tipo de aplicações implica conhecer bem noções como as de radiosidade, reflexividade e refractividade, que consideramos na secção a seguir de iluminação da cena. Por consequência este tipo de mapeamento será abordado integrado na secção seguinte.

F.2.4 ILUMINAÇÃO

Os modelos 3D são inseridos nas cenas virtuais tal como os objectos reais o são no mundo real. A iluminação dos objectos na cena é feita utilizando luzes tais como lâmpadas, luz de uma fonte distante (e.g. luz do sol), projectores usados no cinema ou no teatro, etc. Quanto melhor for aplicada a iluminação maior será o efeito tridimensional. A escolha das luzes adequadas a cada situação e a sua correcta localização na cena deve ser feita estrategicamente.

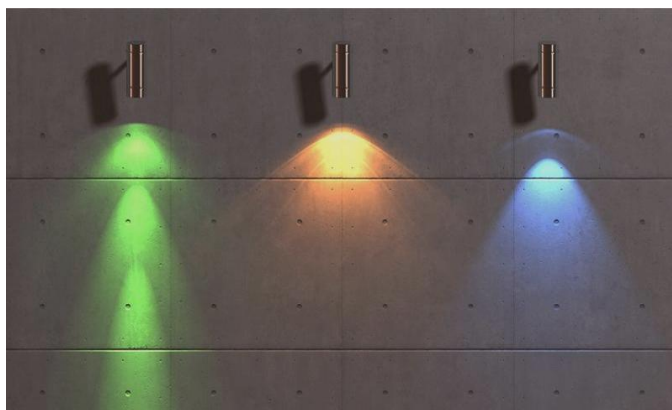


Fig. 251 - Luzes fotométricas aplicadas com o software Lightwave 3D 9.5 (2008) (*Newtek Lightwave 3D 9.5 Released*, 2008).

À medida que os programas se foram desenvolvendo introduziram-se tipos de luz com efeitos cada vez mais realistas e mais simples de aplicar.

Exemplificando, temos o caso das luzes fotométricas, em que podemos definir os valores das suas características físicas. A sua aplicação permite-nos escolher facilmente se queremos utilizar uma lâmpada incandescente de 60 W ou uma lâmpada fluorescente de 18 W tal como se as escolhessemos no mundo real.

Consideram-se dois tipos de cálculos de luz: luz directa e luz indirecta. A luz directa viaja a partir de uma fonte sobre uma direcção até embater numa superfície iluminando-a. Todos os sistemas de *render* simulam este tipo de iluminação, apenas aqueles que efectuem o cálculo de *Global Illumination* (F.3.5.1) calculam a luz indirecta (*3dRender.com*, © 2002 by Jeremy Birn).

F.2.4.1 TIPOS DE LUZES

Nos diversos tipos de luzes aplicáveis, entre as mais comuns encontramos: as luzes Omni, pontos de luz com uma localização específica e que emitem raios em todas as direcções, tal como uma lâmpada, vela ou fogueira; luzes distantes ou direccionais com e sem alvo, onde a luz é emitida em raios paralelos com uma direcção específica independentemente da sua localização (a direcção é definida pelo posicionamento da fonte e do alvo se este existir – e.g. simulação da luz do sol); focos com e sem alvo (*Spotlights*), em que a projecção dos raios se faz em cone a partir de uma localização e para um determinado alvo ou perpendicular à vista utilizada, tal como um holofote ou uma lanterna¹¹⁴; *area lights* que replicam o tamanho de uma fonte luminosa na vida real, e que permitem modelar o tamanho e forma da luz; e luz do céu ou *Environment Spheres* simulando a iluminação do céu, difusa e não localizada, como se fosse gerada por uma semi-esfera que cobre a cena (ver Tabela 5).

As luzes são parametrizáveis, na intensidade, cor, atenuação, etc. Podem ser ligadas ou desligadas dentro da cena, e é ainda possível escolher quais as luzes que afectam os objectos, se afectam todos ou apenas alguns dos objectos e se projectam ou não sombras.

¹¹⁴ As *Spotlights* têm ainda a opção de tal como na vida real, lhes serem aplicadas abas/planos laterais limitando a forma como a luz é projectada (*barn doors*).

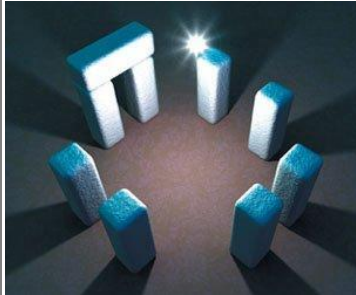
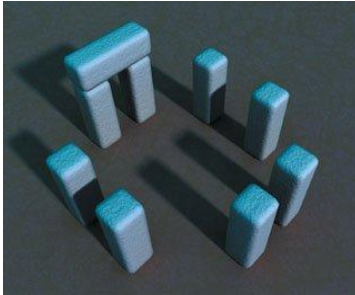
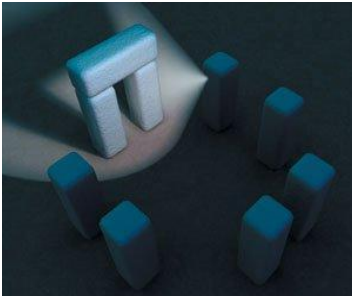
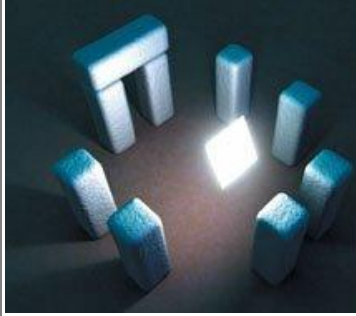

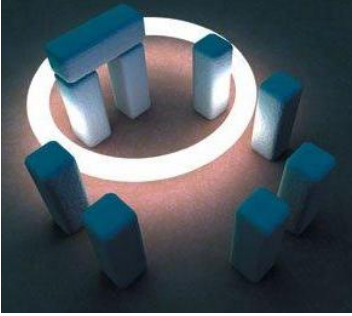
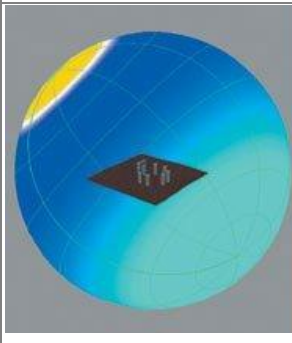

		
<p><i>Omi</i> causam sombras que radiam para fora da posição do ponto de luz.</p>	<p><i>Direccionais</i> mesmo que colocada no meio da cena dá a sensação de se encontrar bastante distante tal como a luz do sol.</p>	<p><i>Spotlights</i> projectam os raios em cone a partir de uma localização e para um determinado alvo.</p>
		
<p><i>Area Lights</i> quanto maior a área maior o brilho provocado, tornando as sombras cada vez mais escuras.</p>		<p><i>Area Lights</i> este tipo de iluminação é bastante prático na modelação de formas tipo <i>neon</i>.</p>
		<p><i>Environment Spheres</i> ou <i>Sky Dome</i> como também são conhecidas são ideais para preencher locais onde seja precisa luz e onde outros tipos de luz não conseguiram iluminar.</p>

Tabela 5 – Tipos de luzes aplicáveis numa cena tridimensional (Valinho et al. 2007)

Tal como um fotógrafo, cineasta ou produtor de TV a escolha da iluminação é essencial na construção do resultado final. Quando se ilumina artificialmente uma cena é frequente aplicarem-se múltiplas luzes. Entre as técnicas mais utilizadas aplica-se uma *key-light* ou luz principal mais intensa sobre

a parte da cena que interessa destacar, e luzes secundárias (*fill lights* ou luzes de preenchimento) de menor intensidade e sem projecção de sombras. Geralmente são posicionadas com um ângulo de aproximadamente 90° em relação à luz principal, eliminando as sombras de maior intensidade que possam ser projectadas pela luz principal.

F.2.4.2 LUZES FOTOMÉTRICAS E LUZ COM REFERÊNCIA TEMPORAL E GEODÉSICA

As luzes fotométricas são extremamente práticas quando utilizadas para replicar um ambiente real. Se se aplicarem cálculos de GI obtém-se os melhores resultados. São também ideais na criação de ambientes 3D para realidades aumentadas se forem pré-calculadas.

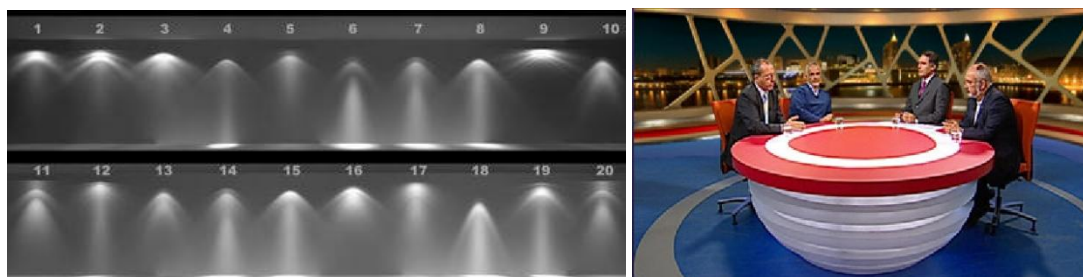


Fig. 252a/252b - A utilização de luzes fotométricas na concepção de cenários virtuais facilita o processo de replicação do ambiente real. Estão hoje disponíveis diversas bibliotecas de luzes fotométricas que dão uma imensa liberdade de escolha ao cenógrafo virtual (*MrCAD 3D News*, n.d.& *bloomgraphics*, n.d.).

O tipo de luzes que podemos escolher incluem luzes incandescentes, de halogénio, fluorescentes, luzes utilizadas em candeeiros de rua, holofotes de estádios, etc. As *Area Lights* também são luzes fotométricas mas são parametrizadas pelo utilizador ao passo que as primeiras obedecem a *standards* definidos em bibliotecas integradas nos programas. São parametrizáveis na maneira com a luz é projectada a partir do ponto de luz, na sua intensidade, cor e grau de atenuação (ver Fig. 252).

Paralelamente, alguns programas permitem a aplicação de um tipo de luz que reproduz a luz do dia/noite calculada a partir de uma qualquer latitude-

longitude em função de uma hora pré-definida. Este sistema permite visualizar as sombras de uma forma bastante realista e estudar o comportamento das sombras projectadas por objectos, estruturas ou edifícios em fase de projecto. É ainda possível encontrar nos programas de *software*, objectos modelados tais como candeeiros de mesa, apliques de parede ou tecto, luminárias, etc, tornando mais simples a aplicação de luzes e mais rápida a modelação de ambientes.



Fig. 253a/253b -Tipo de imagem fotorealista que beneficiaria do tipo de cálculos de luminosidade baseados na hora do dia, época do ano, latitude e longitude (*heroturko.org*, n.d.).

F.2.4.3 LUZ AMBIENTE E EXPOSIÇÃO

Independentemente das luzes aplicadas, a iluminação da cena pode ser definida em termos de luz ambiente ou da exposição, aclarando ou escurecendo a cena por igual. Estes dois elementos permitem regular o contraste, o brilho e a cor da cena e são visíveis apenas quando se efectua o *rendering*. A luz ambiente simula a luz que incide perpendicularmente a cada face, sem origem definida. Não produz sombras nem efeito 3D, uma vez que afecta igualmente todos os lados dos objectos presentes na cena (ver Fig. 254). Para que os seus efeitos sejam visíveis tem de existir pelo menos uma outra luz aplicada. Modificar a cor da luz ambiente implica um tingimento de todos os objectos presentes na cena com a cor definida (Barata & Santos 2010, pp. 360-363).

A exposição permite o ajuste da cor da cena em *rendering*, tal como se faz com uma câmara fotográfica. Entre as suas vantagens melhoram-se alguns

dos efeitos de iluminação e eliminam-se efeitos de excesso de luz. Permite aplicar uma melhor separação de cores no *render* com base nas cores usadas, e transformá-las em cores mais reais (ver F.2.5.8). Às cores convertidas é ajustado o brilho e o contraste. Permite ainda escurecer ou aclarar a imagem (Barata & Santos 2010, pp. 360-363).

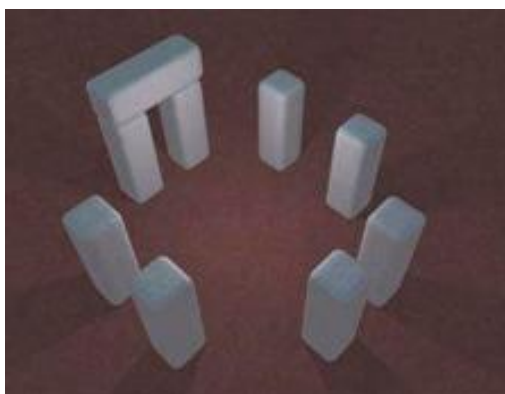


Fig. 254 - *Luz Ambiente*, este tipo de luz faz com que todos os lados da mesma cor do objecto percam sombreamento (Valinho et al. 2007).

F.2.4.4 SOMBRAS

As sombras são uma parte fundamental de qualquer imagem seja análoga ou digital, a sua presença permite criar a sensação/ilusão de tridimensionalidade e profundidade. Contudo o seu cálculo, está intimamente ligado ao aumento do tempo necessário para a realização da imagem final, tornando-se essencial fazer uma aplicação cuidada das luzes.

Para se compreender o tipo de sombreamento provocado nas superfícies de uma cena torna-se essencial compreender os conceitos de *Diffuse*, *Glossy* e *Specular*, as três maneiras mais comuns de reflexo de luz, uma vez que estas estão directamente relacionadas com o resultado das sombras próprias e projectadas. A reflexão difusa corresponde à difusão uniforme da luz em todas as direcções, a reflexão *glossy* preserva a direcção dos raios de iluminação e a reflexão especular preserva a nitidez da luz reflectindo os raios sem dispersão (ver

Fig. 255). Geralmente a maioria dos modelos 3D mostram uma combinação destes três tipos de reflexão em proporções diferentes (Valinho et al., 2007).

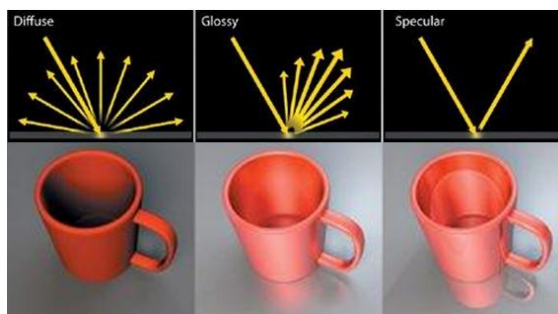


Fig. 255a/255b -Tipos de reflexo de luz e forma como estes se apresentam depois de aplicados num modelo 3D (Valinho et al. 2007).

Tal como foi referido na secção F. 2.1.2., para o cálculo da forma como os raios de luz são reflectidos pelas superfícies, são utilizados os referidos *shaders* (sombreadores), algoritmos que durante o processo de *render* calculam o sombreamento em função das propriedades de reflexão que atribuímos aos materiais. Existem diversas outras variantes a ter em conta, tais como a descoberta do Físico francês Fresnel (1788-1827) que através do estudo da propagação da luz dos diferentes objectos, observou que a quantidade de luz reflectida numa determinada superfície varia consoante o ângulo de visualização. Esta variação é controlada através do parâmetro BRDF (*Bidirectional Reflectance Distribution Function*) que descreve a forma como uma superfície absorve/reflecte a luz a partir de diversos ângulos (ver Fig. 256). *Shaders* como Lambert, Phong e Blinn generalizam este comportamento mas alguns programas de *render* permitem imitar os verdadeiros comportamentos da luz baseando-se em dados recolhidos na vida real (Valinho et al., 2007).



Fig. 256 - Efeito de Fresnel – ao olhar directamente para baixo numa piscina observam-se menos reflexos do que se se olhar a partir de um ângulo mais afastado (Valinho et al. 2007).

O tipo de sombras calculado pode ter características bastante diferentes. Especificando as diferenças entre sombras fortes e suaves temos que as sombras fortes são mais sólidas e têm bordas mais bem definidas, enquanto as suaves têm um aspecto desvanecido nas bordas (ver Fig. 257). A escolha de uma ou de outra dependerá do objectivo a concretizar.

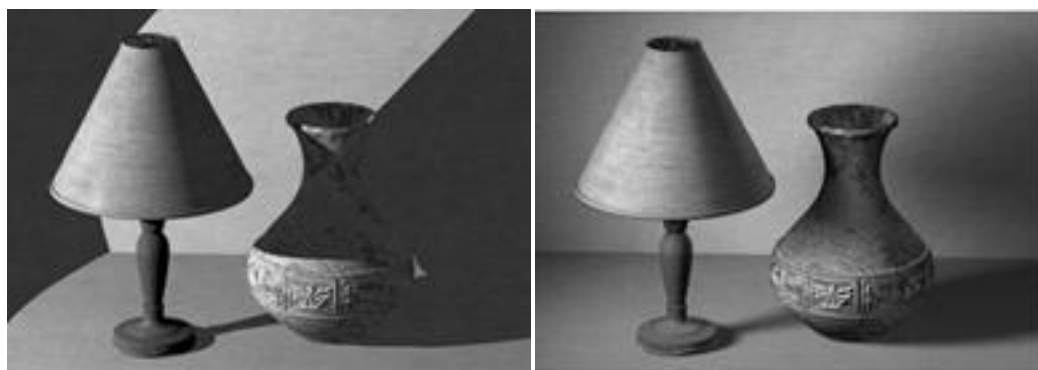


Fig. 257a/257b – a) sombras fortes; b) sombras suaves (Valinho et al. 2007).

As luzes fortes com sombras bem definidas aplicam-se na simulação de uma luz forte concentrada, como uma lâmpada, a luz solar num dia límpido, como forma de destacar uma fonte de luz artificial (e.g. um foco sobre uma personagem) ou na projecção de sombras que definam formas (e.g. silhuetas). As luzes suaves com sombras suaves, são aplicadas para reproduzir luz natural em dias nublados (quando as sombras são mal definidas), para criar luzes indirectas tais como as que são reflectidas por paredes ou tectos, para simular luz solar ultrapassando materiais translúcidos como cortinas ou simplesmente para tornar um ambiente mais confortável e relaxante com uma aparência mais natural e orgânica (Valinho et al., 2007).

A reprodução de sombras virtuais diferencia-se pelo tipo de cálculo utilizado na sua realização, podendo ser do género *Shadow Map* (*Depth Map Shadow*), *Area Shadow* ou *Ray Traced*.

Concretamente o *depth shadow map* corresponde a uma matriz de medição da distância da luz até à geometria visível mais próxima. Durante o *rendering* a luz é cortada nas distâncias especificadas por um *depth map* pré-

calculado de forma a que a luz não brilhe para além da distância especificada para cada ângulo (ver Fig. 258). Este processo diminui bastante o tempo de *rendering*. Quando se trabalha com mapas de sombra é possível suavizar a profundidade do mapa através da aplicação de um filtro, no entanto esta suavização é uniforme e como tal menos realista do que as sombras suaves calculadas com GI (ver Fig. 259) (Valinho et al., 2007).

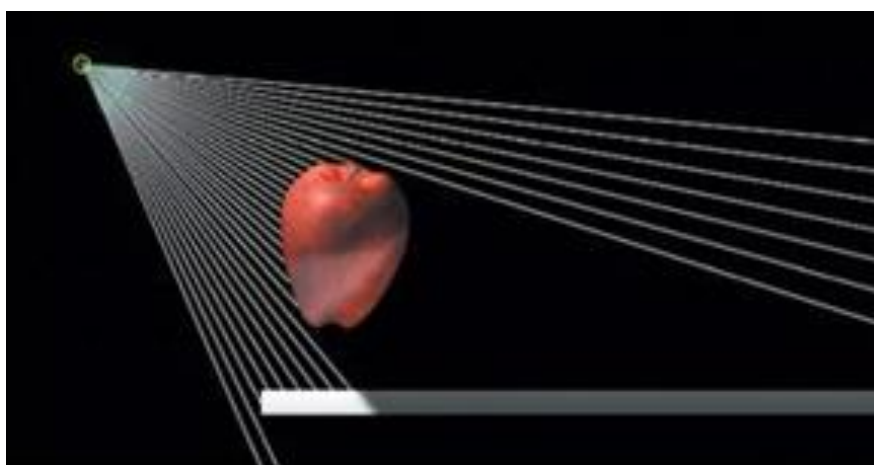


Fig. 258 - A *Depth map shadow* baseia-se numa matriz de medição de distância desde o posicionamento da fonte de luz até ao modelo (Valinho et al. 2007).

Para o cálculo das *Depth Map Shadows* é gerado um *bitmap*. A variação da resolução do mapa implica o aumento ou diminuição das necessidades de memória para o cálculo das sombras, pelo que se trabalha com tamanhos adequados aos objectivos. No caso da produção televisiva considera-se 512 suficiente (SD) e 1024 bom para filmes de longa metragem ou TV em HD. É um processo de cálculo rápido contudo existem limitações para cálculos relacionados com determinados tipos de mapeamento de objectos com transparências e reflexos (ver F.2.5.7). Como desvantagem os *dmaps*, como também são chamados, por terem uma resolução finita precisam por vezes de ser ajustados para evitar artefactos¹¹⁵ (id.ibid.).

¹¹⁵ Defeitos visíveis numa imagem gerada por computador.

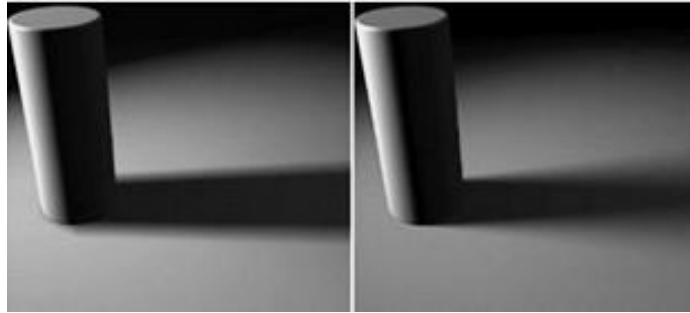


Fig. 259a/259b - À esquerda sombra suave calculada através de um *dmap* com aplicação de filtro; à direita a sombra do mesmo cilindro é calculada com GI (Valinho et al. 2007).

As *Area Shadows* são o resultado da utilização das *Area lights*, provocam sombras de limites suaves e já suportam o cálculo de objectos com mapeamentos específicos de transparência ou opacidade (Barata & Santos 2010, p. 372). Concretamente um dos maiores objectivos da sua utilização, é a obtenção de uma iluminação mais realista através da produção de sombras suaves correctas. Ambas *spot* e *point lights* podem ser transformadas em *area lights*, assim como se pode para além da utilização das primitivas (rectângulo, disco, esfera, cilindro, *custom* ou objecto geométrico) transformar qualquer objecto da cena numa *area light* (*Mental Ray Manual*, n.d. b).



Fig. 260a/260b - Na figura da esquerda a bola não se integra na totalidade pois não existe sombra, a introdução de uma luz secundária na segunda imagem ligada apenas ao sólido-bola, permite a criação de uma sombra mais destacada dentro da sombra criada pela luz principal (Valinho et al. 2007).

As sombras calculadas com *raytracing* podem ser fortes ou suaves, e também suportam sombras calculadas a partir de objectos com mapeamentos de opacidade e transparências. Quando se produzem cenas com muitos objectos e luzes o *raytracing* das sombras torna-se essencial para que estas se tornem credíveis (Barata & Santos, p.372-373). De facto, na criação de uma cena realista é preciso recriar com cuidado as sombras na cena pois involuntariamente algumas sombras poderão ficar diluídas noutras sombras perdendo-se a ilusão de realismo (ver Fig. 260).

As *raytraced shadows* são calculadas *pixel a pixel* pela detecção de raios entre a fonte de luz e o objecto iluminado. Para cada ponto da superfície, o *render* determina quais as luzes que iluminam o ponto. A partir do ponto é traçado o caminho até à luz. Se houver algum polígono a bloquear o caminho então a luz é impedida de iluminar os pontos à superfície. A área da superfície à qual a luz é impedida de aceder dá origem à *raytraced shadow* (Valinho et al., 2007).

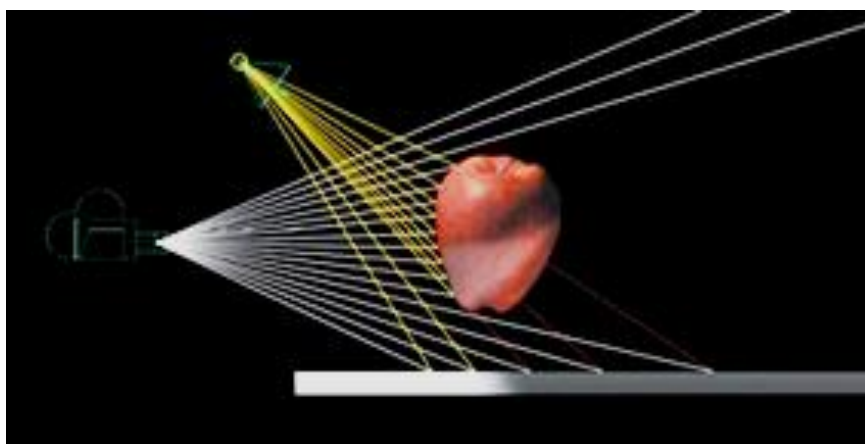


Fig. 261 - Na imagem os raios amarelos mostram a luz proveniente da fonte de luz e os raios vermelhos representam os raios bloqueados pela geometria, indicando que os pontos ao serem processados pelo *Render* estão numa sombra (Valinho et al. 2007).

Ao contrário dos mapas de sombras as *Raytraced Shadows* ao atravessarem superfícies transparentes tornam-se tal como na realidade mais claras podendo inclusive agarrar alguma da cor das superfícies transparentes se

estas forem coloridas (ver Fig. 262). As *raytraced shadows* não produzem artefactos e são precisas em qualquer resolução (Valinho et al., 2007).



Fig. 262 - Nesta imagem calculada com *raytraced* as sombras assumem a cor dos objectos transparentes, sendo elas próprias transparentes (Valinho et al. 2007).

Para os três métodos de sombras referidos existem parâmetros comuns e parâmetros específicos. Entre estes incluem-se a atribuição de cor, densidade (mais ou menos opaca), mapas, a possibilidade de misturar a cor das luzes com as da sombra e também a projecção das sombras provocadas por efeitos atmosféricos. É possível ainda controlar a aproximação ou afastamento da sombra do objecto, atenuar os contornos das sombras e calcular sombras nas duas faces dos objectos (Baptista & Santos, pp. 372-377).¹¹⁶



Fig. 263 - O parâmetro *shadow color* torna-se uma ferramenta muito útil quando existe sobreposição de sombras, pois permite destacar uma determinada sombra durante um teste de renderização (Valinho et al. 2007).

¹¹⁶ O número de parâmetros e o tipo de parâmetros disponíveis para a criação de sombras varia de programa para programa.

Quando utilizamos o cálculo com algoritmos de *raytrace* existem diversos outros parâmetros bastante mais complexos tais como: a capacidade de diminuição do efeito de escada,¹¹⁷ em função do número de raios lançados por uma superfície iluminada, o número de raios secundário, a diluição da fronteira de sombra, a distância mínima do objecto à sombra e a adição de irregularidade aos raios lançados, a atribuição de transparência às sombras e a possibilidade de evitar que faces adjacentes projectem sombras entre si (Baptista & Santos, pp. 374-375). Dentro destes parâmetros um dos mais importantes para definir o processo de cálculo do *raytrace* é o *trace depth* (profundidade do traço), isto é, o número de vezes (*bounces*) que o traço muda de direcção desde que inicia o seu percurso. Se o número de vezes for muito pequeno poderão não ficar representadas todas as sombras essenciais. Por outro lado, se o número for muito elevado são desperdiçados recursos de processamento (Valinho et al., 2007).

F.2.5 IMAGE-BASED LIGHTING

Cedo os utilizadores de gráficos em tempo-real se aperceberam das vantagens que advém da iluminação de objectos com iluminações complexas através da utilização de mapas de textura em detrimento da utilização de um pequeno número de fontes de luz simples. Na vida real a luz chega às superfícies vinda de todas as direcções e não apenas a partir de algumas direcções como uma *point* ou *directional light*. Uma grande variedade de técnicas tem sido desenvolvida para capturar a iluminação do mundo real e utilizá-la para realizar o *rendering* de objectos virtuais como se fossem iluminados pela luz do ambiente real, tornando mais fácil e correcta a fusão entre objectos virtuais e cenas reais (Pharr & Green 2004).

O *Imaged-Based Lighting* (IBL) surge como uma técnica de *rendering* 3D que envolve a aquisição de uma imagem ou mais imagens do ambiente envolvente de uma cena, com o objectivo de utilizar as suas

¹¹⁷ Conhecido por anti-aliasing, a aplicação deste filtro permite reduzir o efeito serrilhado das bordas dos objectos comumente gerado na realização de imagens digitais (ver F.3.9)

características durante o cálculo do *rendering*. Por vezes utilizam-se técnicas de HDRI (High Dynamic Range Imaging)¹¹⁸ para conseguir um maior realismo (ver F.2.5.8). Quase todos os modernos *softwares* oferecem a possibilidade de realizar *image based lighting* embora a terminologia usada possa variar de programa para programa. Com o aumento da capacidade dos processadores, foi possível estender a técnica de IBL nos videojogos também à aplicação de HDRIs (High Dynamic Range Images).

F.2.5.1 LIGHTMAPS, BAKED MAPS E ENVIRONMENT MAPS,

Tal como verificamos na secção F.2.2.4, as texturas de imagens podem ser usadas para controlar diversas características de uma superfície. Nesta secção abordam-se aquelas que respeitam à simulação de iluminação e sombras na cena através da aplicação de texturas, conhecidas por *lightmaps*, *baked maps* e *environment maps*. Na sua aplicação mais básica verificámos que ao serem aplicados aos modelos 3D, os mapas de textura 2D além de poderem ser ricos em detalhes podem ter pintados sombreamentos que simulam geometria não representada. Neste aspecto a mestria sobre a imagem 2D ditará a qualidade do resultado final.



Fig. 264a/264b - Na concepção de texturas é de suma importância o domínio do 2D digital, a qualidade das mesmas influencia de forma directa o resultado final. O número de detalhes que se podem introduzir fazem desta técnica um poderoso auxiliar na modelação de 3D (Valinho et al. 2007).

¹¹⁸ O *High Dynamic Range Imaging* é um conjunto de técnicas que permite utilizar um espectro dinâmico mais alargado de luminâncias entre as áreas mais claras e mais escuras, do que aquelas que são fornecidas pela utilização de imagens captadas por métodos típicos (*standard*).

F.2.5.2 LIGHTMAPS

Os *lightmaps* ou mapas de incandescência usam a técnica de aplicação de mapas de texturas para simular automaticamente as propriedades de iluminação de um objecto. Quando aplicados, independentemente dos objectos se encontrarem numa zona sombreada elimina-se a necessidade de utilizar uma fonte de luz para os iluminar (ver Fig. 265). É inclusive um dos métodos mais utilizados para simular que o objecto é a própria fonte de luz (Miller 1999).



Fig. 265a/265b/265c - Este modelo foi concebido com uma malha de 77 vértices e 44 faces ao qual foram aplicados dois mapas, o 1º de textura e o 2º de iluminação, a 3º imagem mostra o resultado da aplicação do *lightmap* (Miller 1999).

Um *lightmap* funciona como um mapa de textura que armazena informações sobre o tipo de iluminação/sombreamento em vez do tipo de textura. Os *lightmaps* são gravados frequentemente num formato que inclui um canal suplementar *alpha* (e.g. rgba), de forma a que se possam combinar os mapas segundo diferentes níveis de transparência sobre os mapas de textura. O resultado de um *Render* assim produzido é uma “cena iluminada”. A sua aplicação traz a grande vantagem de se poderem alterar as texturas dos materiais facilmente, recriando-se uma nova cena sem ser necessário recalcular todos os dados relativos à iluminação, posto que estes já estão associados através do *lightmap*. Por outro lado trazem algumas desvantagens, tais como: o mapa poder ter que ser específico para cada objecto (ao contrário dos mapas de texturas que podem ser utilizados sobre diversos elementos); o aumento nas necessidades de processamento aquando do *Render*; e serem apenas utilizáveis na aplicação de iluminação estática. Assim, pelo facto de cada uma das superfícies 3D, geralmente produzir o seu *lightmap*, em mundos virtuais complexos com *rendering*

em tempo-real, poderá ser necessário armazenar os *lightmaps* em resoluções mais baixas de forma a manter os *ratings* interactivos.¹¹⁹

F.2.5.3 BAKED MAPS

O processo de *baking* refere-se geralmente ao processo de gravar como uma imagem o aspecto de um material ou de uma superfície. O conceito por detrás desta técnica está em que determinados parâmetros dos materiais têm um processo computacional muito mais demorado do que a aplicação de uma textura de imagem, diminuindo-se através deste método o tempo de *rendering* de uma cena.



Fig. 266a/266b - As *baked textures* oferecem um aspecto externamente realista com um custo computacional muito inferior ao gerado pelo processamento de todas as características do *layout* de cena (Max Realm.com, 2009).

O *baking* pode ser realizado sobre as normais da superfície, dando origem aos já referidos *normal maps* ou sobre os materiais e luzes aplicados. Normalmente as *baked textures* são feitas a partir dos modelos já finalizados (ver Fig. 208). Em primeiro lugar, é necessário proceder ao prévio *unwarp* do modelo segundo as coordenadas UV. Em seguida, os mapas são realizados de acordo com a planificação das coordenadas e aplicam-se no modelo para se verificar se é

¹¹⁹ Para um sistema de iluminação dinâmico é preciso utilizar outro sistema de aplicação mais complexo onde se associam diversos *lightmaps* a uma superfície em função do movimento da luz ou da mudança do tipo de iluminação.

necessário corrigir os *seams* (costuras das texturas). Se existirem problemas dessa natureza corrigem-se e voltam a aplicar-se.

Por vezes para corrigir as bordas escuras geradas na realização das *baked textures*, utilizam-se diferentes métodos tais como: a correcção manual das texturas, o desactivar do *mip mapping* ou a utilização de texturas com canal *alpha*. Igualmente para que não hajam sobreposições torna-se necessário que o mapeamento UV não tenha falhas (Baas 2005).

No *baking* de texturas o que originalmente correspondia à aplicação de diferentes texturas no mesmo material é transformado numa só. Igualmente o que foi calculado como uma textura processual ou um material de cor é transformado numa imagem. É ainda possível escolher individualmente os objectos dos quais se quer realizar a *baked texture* e se o resultado do *baking* ficará todo numa só textura de imagem ou em ficheiros separados para cada objecto. Escolhem-se ainda na configuração das *baked textures* quais os elementos que queremos fazer *baking* nomeadamente, *diffuse color*, sombras, canal *alpha* (opacidade/transparência), etc (ibid.).

É importante que não só a resolução como o formato do ficheiro de imagem estejam preparados para serem utilizados no programa final de *render* em que vão ser aplicados, pois nem sempre estes suportam os formatos escolhidos. Por exemplo, nem todos os programas aceitam a importação de ficheiros *targa* ou de texturas com canal *alpha*.

O *baking* das texturas traz também a vantagem de se poderem aplicar brilhos e sombras com uma correspondência fiel sobre a geometria, algo difícil de conseguir com a aplicação de uma textura de imagem simples. Igualmente, o facto da iluminação da cena estar reflectida na superfície dos objectos permite que todos os recursos necessários ao cálculo de iluminação sejam canalizados para o *render* final. Por último, a sua aplicação pode ainda ajudar a cobrir algumas imperfeições da modelação que possam existir.

Um outro tipo de *baked textures* são utilizadas em animações e simulações físicas. *Frame a frame* são guardadas as *baked textures* como um

conjunto sequencial, o resultado final permite que se faça o *render* de uma animação ou simulação a uma velocidade muito superior.

F.2.5.4 ENVIRONMENT MAPS

O objectivo do *Environment mapping* é a simulação de reflexos do ambiente envolvente pelos objectos presentes na cena através da utilização de uma imagem texturada pré-computada. Os *environment maps* contêm uma vista completa ou hemisférica do ambiente envolvente recolhida a partir do centro da cena. Esta técnica assume que o ambiente do objecto (isto é, tudo o que o rodeia) está a uma distância infinita do objecto e como tal as imagens, *environment maps*, são dispostas de forma a criar uma imagem omnidireccional.

Existem diversas maneiras de guardar o ambiente circundante, sendo que a primeira técnica a ser utilizada foi o *sphere mapping*. Neste caso só é utilizada uma única textura que reflete o ambiente como se se tratasse de um bola cromada, contudo esta técnica já quase não é usada tendo sido ultrapassada pela técnica de *cube mapping*. Também se utilizam outro tipo de projecções que exigem um esforço computacional superior, nomeadamente o *paraboloid mapping*, *pyramid mapping* ou o *octaedron mapping* (*Reflection mapping*, AbsoluteAstronomy.com © 2010).

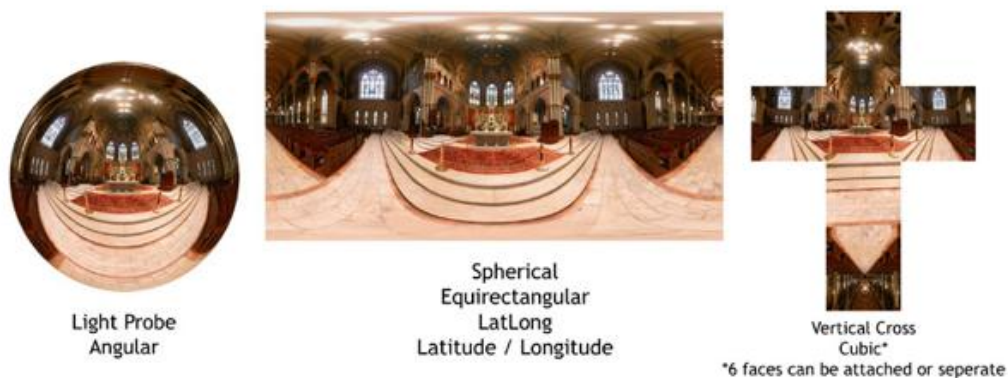


Fig. 267 - Diferentes tipos de *environment maps* utilizados para o cálculo de reflexos do ambiente envolvente captados a partir de uma cena real (The HDRI Handbook, ©2008 - 2009 Kirt Witte, Christian Bloch).

Bastante mais rápida do que a abordagem por *raytracing*, este método necessita muito menos processamento por parte do GPU. Todavia é possível tornar o processo ainda mais rápido se for calculada a posição do raio reflectido a partir de cada vértice. A posição é então interpolada ao longo dos polígonos aos quais o vértice está acoplado eliminando a necessidade de recalcular a direcção do reflexo por cada *pixel*. Se for utilizado *normal mapping* cada polígono pode ter várias normais. O resultado será mais realista uma vez que o ângulo de reflexão num ponto determinado terá o mapa de normais em consideração (*Reflection mapping*, AbsoluteAstronomy.com © 2010).

F.2.5.5 SPHERE MAPPING

O *sphere mapping* representa a esfera de iluminação incidente tal como seria vista no reflexo de uma esfera através de uma câmara ortográfica. A imagem para este tipo de textura é gerada por aproximação ao *setup* desejado, através da utilização de uma lente grande angular ou em casos especiais rendendo a cena como um mapeamento esférico. As suas limitações estão sobretudo relacionadas com o realismo conseguido na sua aplicação. *Texels* que tenham de reflectir zonas do mapa que se encontrem nas bordas geralmente têm maus resultados devidos à má resolução da textura. Os artefactos gerados são tão notados que esta técnica fica limitada a determinados pontos de vista da câmara virtual (*Sphere mapping*, AbsoluteAstronomy.com © 2010).

F.2.5.6 CUBE MAPPING

O tipo de aplicação de *environment mapping* mais utilizado é o *cube map* e consiste na utilização de seis imagens de texturas quadradas que se juntam na forma de um cubo formando a textura omnidirecional. Esta técnica é normalmente preferida sobre a técnica de *sphere mapping* devido ao facto da densidade dos píxeis ser mais uniforme, a distorção é menor logo não é necessária uma resolução tão grande nos mapas de textura. São igualmente mais fáceis de construir (*Reflection mapping*, AbsoluteAstronomy.com © 2010).

As texturas *Cube Map* são ideais para *environment mapping* pois providenciam uma maneira rápida de determinar o que o objecto no centro do ambiente “veria” a partir de uma direcção particular. Para a realização de *cube maps* coloca-se no centro da cena uma câmara e tiram-se “fotos” nas seis direcções do ambiente. Estas imagens são então transformadas no *cube map* (ver Fig. 268).

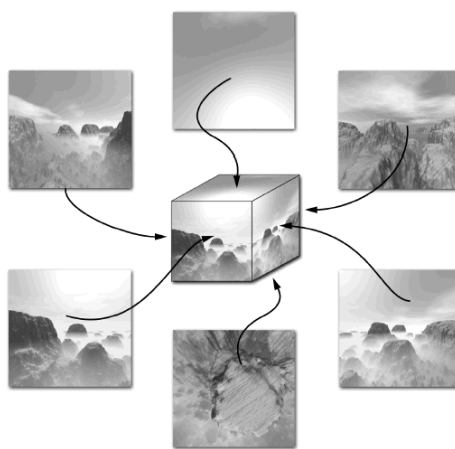


Fig. 268 - Exemplo de 6 imagens de textura utilizadas na construção de um *Cube Map* (Fernando & Kilgard 2003).

F.2.5.7 REFLECTIVIDADE

Quando temos um objecto reflector o que vemos não é o objecto por si só mas o que ele reflecte. Dependendo do lugar onde estejamos a superfície reflecte o raio de incidência que parte do ponto de vista. As características do raio reflectido dependem do que o raio original viu e da Normal à superfície no ponto onde o raio de visão chega à superfície. O que vemos não é a superfície em si mas a maneira como o ambiente aparece na direcção do raio reflectido. O processo passa pela captação da direcção do ponto de vista reflectido a partir do ponto da superfície até ao ponto do *cube map*. Obtendo-se a cor do mapa projectado na superfície o vector/raio de incidência vai do olho para a superfície é reflectido na direcção R baseando-se na normal N à superfície (ver Fig. 269). Este segundo raio é o raio reflectido (Fernando & Kilgard 2003).

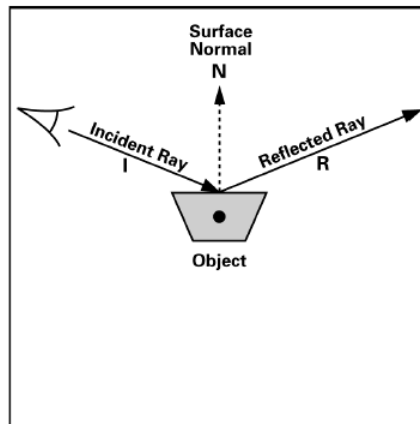


Fig. 269 - Método utilizado no cálculo da direcção do ponto de vista reflectido a partir do ponto da superfície até ao ponto do *cube map* (Fernando & Kilgard 2003).

Esta técnica apesar de não ser fisicamente correcta é extremamente eficaz. Os reflexos especialmente em superfícies curvas são subtis o suficiente para a maior parte das pessoas não notar que a sua representação é incorrecta (ver Fig. 270). Idealmente todos os objectos da cena deveriam ter o seu *environment map*, mas na prática muitos partilham o mesmo sem que se note uma grande diferença. O mesmo se pode dizer em relação aos movimentos que o objecto faça em relação ao *environment map*, se forem movimentos significativos deixa de ser possível apresentar resultados convincentes (Fernando & Kilgard 2003).



Fig. 270a/270b - Apesar de não ser uma representação fisicamente correcta, em superfícies muito curvas dão uma boa ilusão de superfície reflectora com um custo computacional bastante inferior ao do *ray tracing* (Pohl 2008 & *NVIDIA developer zone*, 2004)

Dentro das suas limitações temos que um objecto com um mapeamento reflector só pode reflectir o ambiente e não consegue reflectir-se a si próprio. Assim sendo, a técnica funciona melhor com objectos convexos sendo difícil usá-la em objectos com concavidades. De igual modo se estiverem dois objectos brilhantes na mesma cena não haverão reflexos um sobre o outro. A técnica depende exclusivamente da direcção e não da posição por isso também funciona mal em superfícies muito lisas como espelhos onde os reflexos dependem muito da posição. A sua utilização mais comum recai na sua utilização para dar um efeito reflector do género cromado, se ao material juntarmos outro tipo de textura obtém-se resultados mais ricos e convincentes. É ainda possível através da utilização de *control maps* controlar que parte do objecto é reflectora ou variar o grau de reflectividade do objecto criando partes reflectoras e não reflectoras dentro do mesmo objecto (Fernando & Kilgard 2003).

F.2.5.8 Refractividade, efeito de Fresnel e dispersão cromática

Para se obter o cálculo de refractividade com *environment maps*, aplicam-se o cálculo dos índices de refração dos materiais aos raios incidentes que partem do observador nas superfícies. Ainda que o aspecto final resulte apenas do cálculo do primeiro raio refractado, para o observador comum, devido à sua complexidade o resultado é suficientemente satisfatório. É importante equacionar os diferentes índices de refração de cada material (Fernando & Kilgard 2003).

Porém na vida real, para além da reflectividade e da refractividade temos que a luz varia ainda consoante o ângulo em que visualizamos a superfície causando o efeito de Fresnel. A reprodução deste efeito adiciona realismo às imagens permitindo criar objectos que exibam um misto de reflectividade e refração tal como os objectos reais. Por fim, pode ainda entrar em equação para cálculos de refração, a dispersão cromática. Dependendo do espectro de cor, os raios incidentes podem ser vermelhos, verdes ou azuis, e terem valores diferentes

de refração (ver Fig.271). O resultado final resulta de uma mistura dos três cálculos com o mapa de reflexão (ibid.).



Fig. 271 - Imagem renderizada com *environment mapping* ao qual foi aplicado o efeito aproximado de Fresnel e dispersão cromática (Fernando & Kilgard 2003).

Para realizar *renders* em tempo-real todo o tipo de simplificações são necessárias, o resultado é o que conta se a imagem é convincente então justifica o uso da técnica. Apesar do objecto final ser sempre chegar a estratégias rápidas e correctas, desde o início do desenvolvimento deste tipo de técnicas que o objectivo de fazer crer se sobrepõe a este devido aos constrangimentos associados à criação de ambientes interactivos.

F.2.5.8 HDRL – *HIGH DYNAMIC RANGE IMAGED-BASED LIGHTING*

Trazendo para o mundo digital um novo grau de realismo, o HDRL também conhecido por *High Dynamic Range Rendering* (HDRR), começou a ser aplicado como consequência do aumento da capacidade de processamento. De facto, a sua aplicação como *environment maps* já tinha sido descoberta na década passada, mas só agora se tornou possível utilizá-la nos *softwares* de *render*. A arquitectura, os filmes de animação digital, os efeitos especiais e os videojogos utilizam esta técnica para tornar as cenas mais realistas.

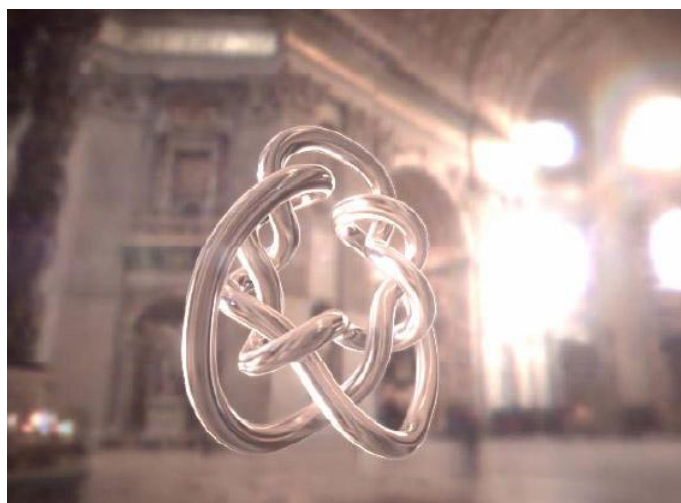


Fig. 272 - Imagem retirada de uma *Demo* de Masaki Kawase em *Real Time HDR Image Based Lighting*. Os brilhos nas janelas e os reflexos no objecto são conseguidos através de um *shader* aplicado em pós-processamento (Campbell, n.d.).

A utilização de imagens HDR (*High Dynamic Resolution*) permite captar a forma como a luz é preservada em fenómenos ópticos, sejam reflexos, refrações, efeitos relacionados com materiais transparentes como o vidro, e aplicá-la em objectos virtuais. Permite ainda a preservação de detalhes que se teriam perdido devido ao limite do rácio de contraste. Sem HDR as áreas escuras ficam pretas e as áreas muito iluminadas ficam brancas, eliminando-se variações que o olho humano está habituado a detectar. Posto isto, temos que o propósito do HDRI é a representação exacta do alargado leque de níveis de intensidade de luz que podemos encontrar nas cenas reais, desde a luz do sol a todo o tipo de sombras (ver Fig. 272). Esta técnica é especialmente útil para se inserir um objecto virtual num ambiente real.

Para a aplicação de HDRIs torna-se necessário proceder à captação das SLF (*Surface Light Fields*). As SLF's são capturadas fotografando uma série de imagens a partir do ponto de vista do objecto e tal como se faz para o *environment mapping* as superfícies são projectadas num modelo geométrico conhecido (cubo, esfera, hexaedro, etc) e comprimidas. Este tipo de parametrização resulta numa representação compacta que pode ser utilizada para *rendering* em tempo-real. Tal como os formatos *standard*, têm a limitação de só

poderem representar as condições fixas de iluminação da cena da qual foram capturadas (ver Fig. 273). As HDRIs podem ainda ter a sua origem num ambiente criado digitalmente (Coombe et al., 2008).

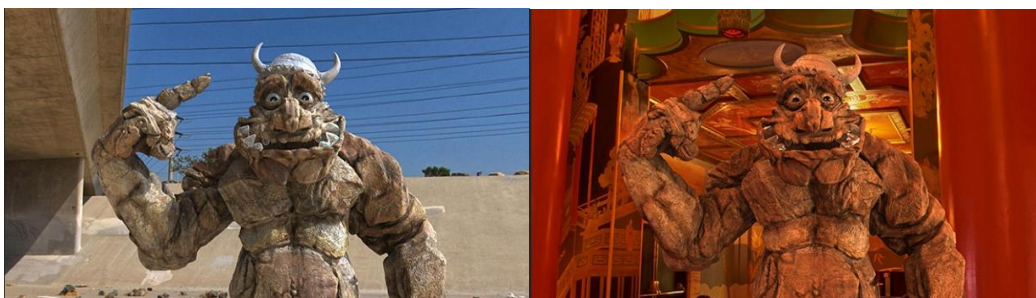


Fig. 273a/273b - Personagem virtual inserido em dois ambientes reais diferentes. A iluminação do modelo foi realizada com base na utilização de HDRIs (*The HDRI Handbook*, ©2007-2010 Christian Bloch).

Este tipo de imagens necessitam de um número de *bits* maior por canal de cor do que as imagens tradicionais. Num ambiente real, os nossos olhos são capazes de distinguir diferentes valores de iluminação num factor de 1 milhão ou mais diferentes cambiantes. Com o formato de 8 bits, os valores de luminosidade só podem variar entre o 0 e 255 tornando as imagens pouco reais. Actualmente, já é possível trabalhar-se com data de 24 *bits*. Por fim temos ainda a possibilidade de aplicar *shaders* em pós-processamento, que reproduzem efeitos de luz que copiam a forma como os nossos olhos respondem a uma luz intensa (Campbell, n.d.).

F.2.6 CÂMARAS

As câmaras utilizadas nos programas de 3D simulam o comportamento das câmaras que utilizamos na realidade, tais como as câmaras fotográficas, de vídeo ou de filmar no cinema. A cada câmara utilizada corresponde um ponto de vista, quantas mais adicionarmos mais diversificadas se tornam as possibilidades de realização. Geralmente na realização cinematográfica o realizador opta por apresentar o espaço de diferentes ângulos, com profundidades de campo variadas assim como com enquadramentos

diversificados (ver Fig. 274). As câmaras são animadas de maneiras diversas podendo executar movimentos do género “andar” ou “sobrevoar” pela cena (Baptista & Santos, p.395).

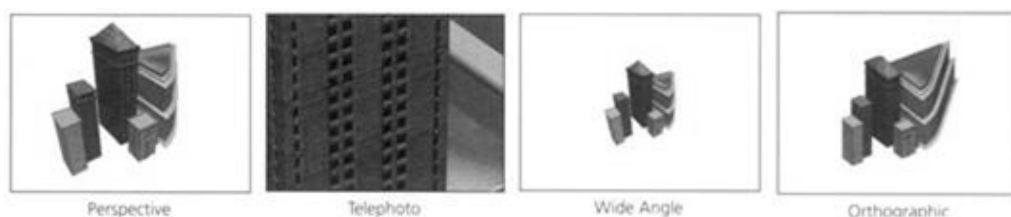


Fig. 274a/274b/274c/274d - Diferentes tipos de vistas de câmaras parametrizáveis no *software* Softimage¹²⁰ (Luz 2002)

As câmaras são geralmente de dois tipos, livres ou com alvo. Uma vez aplicadas na cena é necessário ajustar a sua posição de forma a abarcar a parte da cena que interessa ao realizador, nela podem estar incluídos todos os objectos modelados ou apenas alguns. As câmaras livres permitem visualizar a área para a qual a câmara aponta sem definição de alvo. As câmaras com alvo oferecem um melhor controlo sobre a visualização através da câmara, permitindo a geração de imagens em torno do alvo. É possível mover câmara e alvo independentemente e os seus parâmetros são idênticos aos das câmaras livres (Baptista & Santos 2010, pp.397-402).

Estes parâmetros permitem definir a distância focal da lente em milímetros ou alterar o FOV (campo de visão da câmara) ou seja o ângulo feito entre os limites laterais da câmara. Ambos permitem alterar a quantidade de “cena” visível. Quanto maior for o FOV mais se observa da cena e mais pequenos se tornam os objectos distorcendo a cena tal como uma lente grande angular o faria. É ainda possível trabalhar em projecção ortográfica ou escolher a partir de

¹²⁰ *Perspective* – câmara muito versátil, representa muito bem o efeito de profundidade e os seus parâmetros podem ser facilmente ajustados; *Telephoto* – câmara com um ângulo de visão muito reduzido (cerca de 5°), simula uma objectiva de grandes dimensões; *Wide Angle* – câmaras que por vezes distorcem a perspectiva, o seu campo de visão pode chegar até 100% (muito superior ao olho humano), são usadas para captar muita informação, assim como utilizamos uma grande angular numa máquina fotográfica para captar toda uma paisagem; *Orthographic* – corresponde a uma projecção de raios paralelos. O objecto não se “deforma” se nos afastarmos, ou aproximarmos, deste. Estas câmaras são muito utilizadas para desenho técnico, perspectivas arquitectónicas ou representações de peças mecânicas (Luz 2002, parte III).

um número de lentes reais usadas frequentemente em câmaras fotográficas e de filmar. Esta última, revela-se extremamente útil quando se prepara uma câmara para “filmar” um cenário virtual, pois permite utilizar uma lente com características idênticas à das lentes utilizadas na captação da imagem real. De uma maneira diferente pode definir-se o intervalo de visualização da câmara através da introdução de dois planos de corte, um anterior e outro posterior. Apenas os objectos compreendidos entre os dois planos são visíveis para a câmara de filmar. Os movimentos que podemos programar para a câmara virtual podem replicar qualquer movimento real tais como a rotação, *pan*, *zoom in* ou *zoom out* ao longo de eixos pré-definidos, mas também realizar movimentos do género do *walk-through* típico de um *videogame* (ibid.).



Fig. 275a/275b/275c - O efeito *Depth of Field* acontece quando focamos algum elemento da cena real e elementos anteriores ou posteriores aparecem desfocados na imagem. Quando aplicado sobre uma cena modelada permite tornar mais realista a composição final. Nestas imagens foi utilizado *software* da Ultimatte (*Ultimatte 9*, © 2010 Ultimatte Corporation).

Alguns programas permitem apresentar FX tais como *Depth of Field* (profundidade de campo), *Motion Blur*, *Lens Flare* entre outros. O primeiro simula a desfocagem dos objectos que se encontram muito afastados ou muito próximos da câmara, o segundo simula a perda de nitidez causada pelo movimento dos objectos na cena e o terceiro efeitos de contra luz (Luz 2002, parte III). Os três efeitos tornam as animações mais realistas, por outro lado, estas técnicas tão importantes para a credibilidade da filmagem, não se utilizam com uma grande frequência em tempo-real. Apesar dos *softwares* disponibilizarem estas ferramentas a sua utilização consome bastantes recursos, pelo que à partida usar estes tipo de efeitos leva a que se tenha de diminuir a necessidade de recursos para o cálculo do *render* dos objectos modelados (ver Fig. 275).

F.2.7 ANIMAÇÃO

A modelação 3D surgiu como um método bastante eficaz na produção de animações. Após a modelação do objecto qualquer perspectiva pode ser facilmente obtida a partir de qualquer ângulo. Esta particularidade torna o processo de animação 3D mais rápido do que o tradicionalmente produzido em 2D.

Ainda assim, a modelação de um personagem realista é algo bastante difícil de conseguir, porquanto esse personagem tenha de ser animado, o processo torna-se ainda mais complexo. O processo de animação divide-se essencialmente em quatro fases essenciais: modelação, *rigging* (transformação do modelo numa marioneta 3D), *skinning* (aplicação de texturas e controlo do movimento) e animação do personagem. Durante a modelação de personagens que sabemos à partida que sofrerão deformações ao serem animados (tais como a mão humana) é especialmente importante o modo como definimos a estrutura da superfície. A estrutura do modelo (orientação, tipos de polígonos ou *patches*) compromete à partida a animação do modelo (Lehtinen 2009).

O processo de animação de uma cena é também ele um processo extremamente complicado. Para se obter um controlo efectivo de todos os parâmetros a modificar começa-se por observar a lista de objectos parametrizáveis e definir hierarquicamente todos os parâmetros modificáveis que serão alterados por “controladores”. Os controladores são atribuídos a diferentes funções, entre elas a atribuição de movimentos mecânicos e rígidos, ou de movimentos suaves e contínuos, a atribuição de som a uma animação que se adapta ao ritmo de uma música, fazer aparecer e desaparecer objectos ao longo da animação, luzes intermitentes, movimentação ritmada de objectos, controladores de todo o tipo de movimentos ou mesmo a conjugação de diferentes controladores simultaneamente, outros parâmetros implicam a transformação e um objecto em função da movimentação de outro ou vice-versa sendo as possibilidades de inter-relações infinitas. A definição de caminhos

(splines) facilita a criação de animações complexas sendo possível atribuí-los a objectos, câmaras, luzes, etc (Baptista & Santo 2010, chp.15).

O *rigging* efectua-se sobre o modelo finalizado preenchendo-se o interior do espaço (do modelo) com um esqueleto articulado compreendido por vários ossos e articulações. As diferentes partes do modelo são associadas a uma parte específica do mesmo e é definido um esquema de hierarquia entre as diferentes partes obedecendo a um sistema do género pais e filhos, o movimento do primeiro implica o movimento dos outros (ver Fig. 276).

Depois de lhe serem aplicadas texturas, tal como se anima um fantoche, o processo de *skinning* define exactamente como o personagem responderá ao movimento dos ossos. As articulações nas estrutura de ossos são cuidadosamente ajustadas à maneira como o modelo se deve deformar aquando do movimento do osso. Existem outras ferramentas (controladores) e modificadores especiais para animar os modelos, particularmente para a animação facial é comum que a passagem para diferentes expressões se faça através de um *morphing* entre estados pré-estabelecidos, que facilitam este processo geralmente demorado.

O trabalho de animação por si só é geralmente realizado por especialistas com bastante experiência que conhecem os conceitos de movimento a aplicar. Uma boa aplicação de *rigging* e *skinning* torna este trabalho bastante fluido.

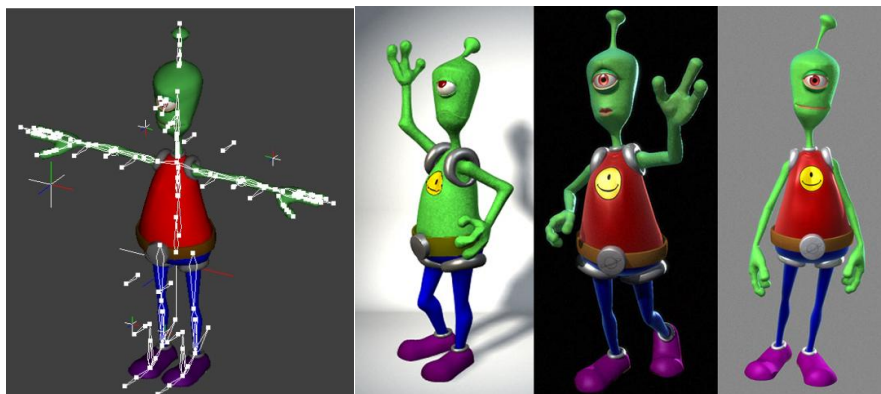


Fig. 276 – *Rigging* de Blit Wizbok, boneco animado para a animação “Alien Song “ de Victor Navone (Navone, n.d.).

Na prática, a utilização de *software* específico tornam o trabalho dos animadores bastante mais rápido simplificado-o. Uma animação não é mais do que um determinado número de imagens fixas relacionadas entre si que quando vistas em sucessão rápida dão a ilusão de movimento, cada uma das imagens tem o nome de fotograma (*frame*). Para criar um movimento fluido são necessários um número elevado de fotogramas entre 15 a 30 por segundo de animação (Barata & Santos 2010, pp.424-425).¹²¹ Se a criação dos fotogramas fosse individual seria extremamente demorada, como tal os novos *softwares* permitem a criação de alguns fotogramas chave (*keyframes*) que representam o início e o fim de uma determinada transformação, aos quais correspondem os valores de alteração chamados *keys*. O programa encarrega-se de calcular os fotogramas intermédios (*tween*). Podemos ainda nas opções de *render* definir em primeiro lugar se queremos renderizar um único *frame*, toda a animação ou apenas alguns *frames*. Dentro dos muitos formatos disponíveis podemos escolher NTSC 4/3 ou 16/9, HDTV, PAL, CINE, *slide*, *custom*, etc, com definição *standard* ou de alta qualidade.

Finalmente, salienta-se o facto de praticamente tudo poder ser animado, não apenas os modelos que compõem a cena, mas também os parâmetros correspondentes a materiais, luzes, câmaras, efeitos de ambiente, etc.

F.3 RENDERING

Uma imagem renderizada pode ser compreendida em termos de um número visível de características. A investigação associada ao desenvolvimento de técnicas de *rendering* tem-se preocupado em encontrar maneiras de simular estas características de forma mais eficiente. Algumas destas técnicas estão relacionadas directamente com o uso de algoritmos, outras com o cálculo da geometria representada. Entre estas características temos o *shading*,

¹²¹ Os valores mais comuns são 30, 24 ou 25 frames por segundo (FPS) correspondentes aos standards NTSC, Film ou Pal. Quando se trabalha em televisão naturalmente que se torna essencial ajustar este parâmetro ao *standard* utilizado no país. Em Portugal utiliza-se o sistema PAL com 25 FPS.

que determina como a cor e luminosidade de uma superfície variam com a luz, o *texture-mapping*, o *bump mapping*, as sombras, a variação de reflexão, transparência, refração, a iluminação indirecta, efeitos como o *fogging*¹²², *depth of field*, *motion blur* ou *caustics* e o *rendering* não fotorealista.

Scanline rendering, *painter's algorithm*, *buffer algorithms*, radiosidade, *raytracing* e *volume rendering*¹²³ são algumas das diferentes técnicas aplicadas no seu cálculo.

F.3.1 RENDERING POR SOFTWARE E RENDERING POR HARDWARE

Existem diversas formas de executar um *render*. Através do próprio programa de modelação que inclui o seu sistema de *render*, através de *plug-ins* que são acoplados a um programa principal ou ainda individualmente através da importação do ficheiro para um programa exclusivo de *render*.¹²⁴ Estes programas são desenhados de forma cuidada apoiando-se numa mistura selectiva de disciplinas relacionadas com a física da luz, a percepção visual, matemática e o desenvolvimento de *software*. O processo de *rendering* pode ser lento e exigir um processamento intensivo através da utilização de complexo *software* (e.g. indústria cinematográfica) ou ser acelerado por *hardware* para realização em tempo-real através de placas gráficas ou placas de edição de vídeo (e.g. *videogames* e cenografia virtual) (ver Fig. 277).

O *rendering* por *software* e o *rendering* por *hardware* utilizam duas abordagens completamente diferentes, por consequência os algoritmos de *rendering* por *software* não são reconhecidos directamente pelo *hardware*. O *rendering* por *software* sustem a cena 3D em memória (ou porção relevante) e efectua os cálculos *pixel a pixel*, a cena é estática e está sempre presente lidando o *software* com um *pixel* ou *sub-pixel* de cada vez. O *rendering* por *hardware* opera no sentido contrário, todos os píxeis estão presentes em todas as alturas mas o

¹²² Como a luz vai se dispersando ao passar através de uma atmosfera enevoada.

¹²³ O *volume rendering* é especialmente utilizado no meio científico pelo que não especificaremos as suas características.

¹²⁴ Final Render, Brazil r/S, V-Ray e o Pixar renderman, são alguns dos *plug-ins* disponíveis, existem ainda diversos outros como o POV-ray, projectos em *open-source*.

rendering consiste no cálculo de um polígono triangular de cada vez, “pintando” cada um no “*frame buffer*”¹²⁵, o *hardware* não tem qualquer noção da cena, só é conhecido o que se passa com cada triângulo de cada vez (*Mental ray Manual*, n.d. c).

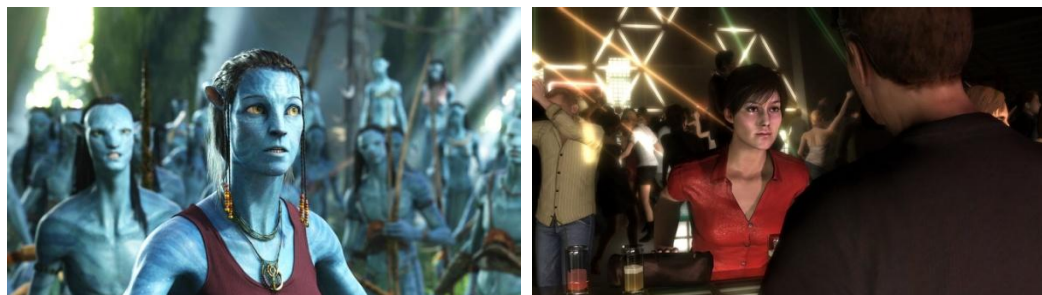


Fig. 277a/277b - O tipo de cálculo de geração de imagem aplicado determina o efeito final da imagem; a) imagem produzida para uma sequência do filme Avatar através de poderosas *renderfarm's* e com *raytracing*; b) imagem produzida em tempo-real durante a utilização do videojogo Heavy Rain através de cálculos de *render* acelerado por *hardware* (Mariano 2010 & Cnet Reviews, 2009).

O *rendering* por *software* não sofre qualquer tipo de limitações para além daquelas que respeitam à *performance* das máquinas e pode calcular qualquer tipo de algoritmo. Permite inclusive calcular efeitos a partir de porções diferentes da cena para que se chegue ao cálculo final do *pixel*. Como exemplo, temos os materiais reflexivos que necessitam de informações relativas à geometria e materiais envolventes, ou ainda os efeitos de GI onde é considerada a luz indirecta de todos os objectos circundantes. O *rendering* por *hardware* não consegue fazer isso uma vez que apenas reconhece um triângulo de cada vez e não tem a noção dos outros objectos. Para se suplantar o problema são utilizadas uma série de estratégias que resolvem algumas das limitações (ibid.).

Tipicamente, as estratégias envolvem o *pré-render* dos objectos em mapas guardados no *hardware* gráfico na forma de texturas de imagens. Estas fornecem as informações necessárias ao motor de *render* para efectuar os seus

¹²⁵ *Framebuffer* é uma memória especializada capaz de armazenar e transferir para o ecrã os dados de uma *frame* de imagem completa. A informação gerida pelo '*framebuffer*' tipicamente consiste em valores cromáticos para cada *pixel* no monitor. Tais valores podem ser armazenados nos formatos 1-bit monocromático, 4-bits e 8-bits da paleta, 16-bits '*highcolor*' e 24-bits '*truecolor*'. Um canal '*alpha*' adicional pode ser eventualmente incorporado para descrever valores de transparência do *pixel*.

cálculos. Se o *hardware* gráfico não lida com objectos múltiplos, fá-lo facilmente com texturas de imagens. Exemplos dessas técnicas são o *shadow mapping*, *reflection mapping* e o *environment mapping*. Cada uma delas permite obter determinados efeitos devendo-se todavia ter em atenção as suas limitações.¹²⁶ Temos ainda que se por um lado são técnicas com um processamento muito rápido, exigem um trabalho manual de *pré-render* complexo (ibid.).

O desenvolvimento do *rendering* por *hardware* tem sido fortemente impulsionado e desenvolvido pela indústria dos *videogames*. As API's (*application programmer interfaces*) especializadas na concepção de imagens 3D surgiram em parte devido às necessidades de desenvolvimento do mercado dos videojogos, facilitando o processo em todos os estágios de geração de imagens. O desenvolvimento destas aplicações provou ser vital no desenvolvimento de *hardware* específico para CG, pois permitiu aos programadores encontrar uma maneira de aceder ao *hardware* de uma forma abstracta tirando um maior aproveitamento do *hardware* gráfico.

No sentido oposto, a técnica de *rendering* mais utilizada pela indústria cinematográfica assenta na utilização de *software* de *rendering* com uma complexidade de algoritmos impressionante e é geralmente apoiada por uma rede conectada de computadores chamada de *renderfarm*. A API mais comum na concepção de filmes para a descrição dos dados da cena é a linguagem do *RenderMan*¹²⁷ concebido pela Pixar e entre as linguagens mais utilizadas na concepção de videojogos renderizados em tempo-real estão as linguagens open GL, CL e o Direct X, projectadas no sentido de funcionarem com *hardware* acelerado para 3D. Entre os *softwares* utilizados para realizar imagens foto-realistas temos prman, BMRT (Blue Moon *Rendering* tools), pov-ray, yafaray, mentalray e o Blender que também é utilizado na concepção das cenas (*Computer Rendering*, © 2010 WordIQ.com).

¹²⁶ Por exemplo, os *shadow maps* não trabalham bem com as *arealights* que produzem *soft shadows* e não trabalham bem com objectos transparentes como o vidro fosco ou o fumo.

¹²⁷ A *RenderMan Interface Specification* (RISpec) é uma API desenvolvida pela Pixar para descrever cenas tri-dimensionais e convertê-las em imagens digitais de alta qualidade. Ele especifica um protocolo de comunicação (ou *interface*) entre os programas de modelação e os sistemas de *render*.

F.3.2 MODEL-BASED RENDERING E IMAGED-BASED RENDERING

Os tipos de *Rendering* podem ainda ser distinguidos de duas maneiras, por *Model-based rendering* e por *Image-Based Rendering*. Os dois são aplicados em função dos objectivos a cumprir, tendo em conta as limitações de processamento de dados que possam surgir. O *Model-based rendering* apoia-se na criação de um modelo 3D para o *render* do modelo final e exige geralmente um maior esforço computacional (*software rendering*) (ver Diagrama 6).

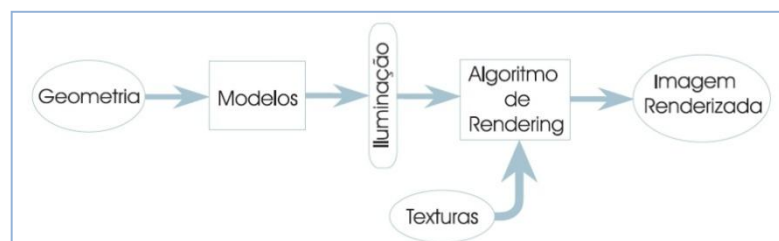


Diagrama 6 - *Model Based Rendering* (Albuquerque 1999, p.38)

Os métodos de *Image-Based Rendering* utilizam imagens pré-renderidas de uma cena ou fotografias como primitivas básicas, combinando-as para compor o cenário (apoiam-se no *hardware rendering* sendo frequentemente conjugado com *software rendering*). As imagens captadas sob diferentes pontos de vista são utilizadas para calcular o mapa de profundidade da imagem através da profundidade real de cada *pixel* (*depth maps*). A partir destas informações estas imagens podem ser re-projectadas com diferentes perspectivas, em outros planos de projecção (ver Diagrama 7).

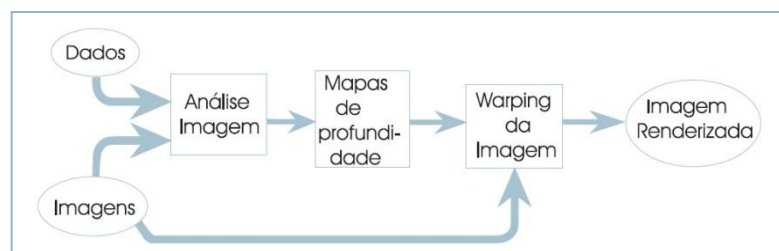


Diagrama 7 - *Image Based Rendering* (Albuquerque 1999, p.44)

Esta técnica permite a utilização de cenários mais complexos com menos esforço computacional, mas em dependendo do método utilizado por vezes pode inviabilizar a livre navegação no ambiente virtual (ver Fig. 278). Na construção de uma cena pode utilizar-se qualquer um dos métodos, sendo comum a conjugação dos dois. A escolha acertada do método e dos parâmetros de *rendering* é essencial para o sucesso da imagem criada em função do objectivo pretendido.



Fig. 278 - *Imaged-based rendering* – esta imagem foi calculada a partir de 54 fotografias (Shum & Kang 2000).

F.3.3 MULTIPASS RENDERING

O *rendering* por passagens ou *multipass rendering* permite realizar em passagens separadas cálculos diferentes tais como luz difusa, especular, reflexão, sombras, luz ambiente, GI, máscaras e profundidade dos diferentes objectos que compõem a cena (ver Fig. 279). Permite ainda fazer o *rendering* de cenas múltiplas com o mesmo número de *frames*, resolução, parâmetros de *oversampling* (ver F.3.9) entre outros, com conteúdos diferentes (Birn 2000a).

Este método é útil se uma cena for extremamente complexa ou constituída por muitos elementos distintos, impossibilitando a sobrecarga de modelos a realização do *render* pelas necessidades de processamento. Esta técnica divide a cena em sub-cenas e junta os resultados num passo separado chamado de *merging*, isto é, as imagens obtidas quando manipuladas num programa de imagem e filtradas em conjunto compõem o resultado final. Se por

um lado é certo que as necessidades de espaço em disco e o número de passos efectuados aumentam, este processo tem a grande vantagem de facilmente se poderem introduzir modificações.



Fig. 279 - No final a cena é gerada pela soma do cálculo da luz difusa, especular e reflectividade (Birn 2000a).

F.3.4 RENDERING POR LAYERS

De forma semelhante ao funcionamento do *multipass rendering*, o esforço computacional exigido para realizar o *render* da imagem através de *rendering* por *layers* ou camadas é inferior ao exigido no cálculo de uma cena integral. As cenas são igualmente separadas em sub-cenas, mas desta vez através do agrupamento de elementos semelhantes tais como personagens, adereços (*props*), ou *backgrounds* (ver Fig. 280). Os elementos não presentes numa sub-cena são omitidos ou substituídos por elementos muito simples que não aparecem na imagem final a ser adicionada no *merging*. Se necessário, são introduzidos na forma de objectos invisíveis ou não detectáveis mas que provocam sombras. Isto permite que objectos de uma passagem provoquem sombras em objectos pertencentes a outra passagem (Mental ray Manual, n.d. d). Entre os diversos tipos de camadas calculam-se ainda diversos efeitos visuais tais como chuva, neve, vapor de água, fumo, fogo ou efeitos ópticos. O facto da aplicação destes efeitos ser feita em separado permite um grande controlo sobre o resultado final.

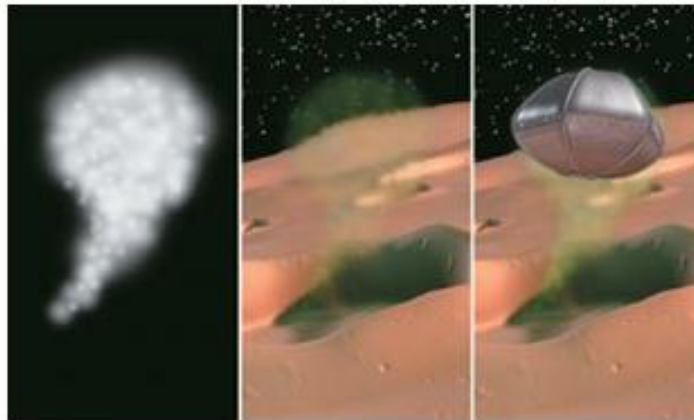


Fig. 280 - Cena composta por camadas - efeito, fundo e ovni foram calculados em *layers* diferentes e conjugadas posteriormente (Valinho et al. 2007).

Para além das vantagens já referidas, o *render* por passagens ou por *layers* inclui a possibilidade de utilizar computadores menos potentes para realizar *renders* bastante complexos; ajustar sombras ou brilhos sem se proceder a nenhum *render*; realizar a integração de elementos reais de uma forma controlada; utilizar o mesmo elemento na construção de diversas imagens em diferentes posições ou *frames*; esbater reflexos na imagem compósita eliminando a necessidade de *anti-aliasing* ou *render* de alta-qualidade da passagem dos reflexos e o *bump mapping* pode ser aplicado selectivamente à passagem dos reflexos, da cor ou dos brilhos, obtendo-se diferentes efeitos de *depth of field* sem se aumentar o tempo necessário para o cálculo de *render*, adicionando um efeito de desfocagem às imagens de fundo separadamente (Birn 2000a).

F.3.5 RENDERING COM CÁLCULOS DE TRANSPORTE DE LUZ VS RENDERING EM TEMPO- REAL

Actualmente as técnicas de *rendering* competem em dois sentidos completamente diferentes, o primeiro baseia-se na aplicação de algoritmos e tem por objectivo replicar as leis da física obtendo imagens foto-realistas, o segundo na simulação da realidade e tem por objectivo obter *ratings* de *render* interactivos.

Dentro da primeira vertente, as técnicas de *rendering* exploradas incluem os importantes cálculos de *Global Illumination*, que se distinguem pela forma como calculam o transporte da luz no ambiente virtual. As que mais se destacaram pelo seu realismo foram a radiosidade, que assenta na matemática elementar finita e o *raytracing* que assenta na matemática de Monte Carlo.¹²⁸

Para um processamento em tempo-real, o cálculo completo do comportamento da luz teria um custo computacional inabarcável. Para tornar o processo muito mais rápido utilizam-se então as técnicas de simplificação de cálculo por aproximação. Utilizando a iluminação directa, onde a luz é calculada a partir da fonte de luz até à superfície e depois reflectida da superfície para a câmara/observador (supondo que este caminho de luz é geralmente o dominante na cena) tem-se um custo computacional muito inferior ao gerado por radiosidade ou *raytracing*.

De igual forma, se pode escolher tal como foi referido na secção F.2.5, não realizar o cálculo da iluminação e substituí-lo por técnicas de pré-cálculo da iluminação. O pré-cálculo da *Global Illumination* de uma cena faz-se através das *baked textures* que guardam as informações relativas à iluminação juntamente com os outros dados do modelo. Esses dados podem então ser usados para gerar imagens a partir de diferentes perspectivas dentro dessa cena (assumindo que nenhuma luzes foram apagadas ou adicionadas).

F.3.5.1 GLOBAL ILLUMINATION

A *Global Illumination* reúne a classe de algoritmos utilizada no *rendering* de modelos 3D para determinar o caminho que percorre a luz numa cena. Na vida real os raios de luz podem ser absorvidos, refractados e/ou reflectidos pelos objectos que encontram, por sua vez, os raios de luz reflectidos podem agarrar alguma da cor dessas superfícies. Assim, temos que a GI tem em conta não só a luz que proveio directamente da fonte de luz (*local illumination*),

¹²⁸ O método de Monte Carlo é utilizado como forma de obter aproximações numéricas de funções complexas.

mas também a luz que se reflecte a partir de outras superfícies no mundo simulando a maior parte das cenas reais. As imagens geradas são geralmente consideradas mais foto-realistas do que as que usam apenas algoritmos que calculam a luz vinda a partir de fontes de luz locais, contudo são muito mais lentas de produzir. O cálculo da iluminação indirecta faz-se através de algoritmos de *rendering* diversos tais como *raytracing*, radiossidade, *beam tracing*, *cone tracing*, *path tracing*, *final gathering*, *ambient occlusion*, *caustic effects*, *metropolis light transport* ou *photon mapping (caustics)*. Os resultados variam consoante seja escolhido um ou outro algoritmo,¹²⁹ ou se foram utilizados mais do que um ao mesmo tempo.



Fig. 281 - Imagem renderizada pelo programa da Maxon - Cinema 4D, utilizando algoritmos de *Global Illumination (Maxon - 3D for the Real World, © 2010 Maxon Computer)*.

Os algoritmos utilizados para o cálculo da iluminação são os mais complexos utilizados na produção de CG sendo um ponto crítico na realização de imagens credíveis. A base das técnicas de iluminação aplicadas está no cálculo da quantidade de energia luminosa transmitida, reflectida e absorvida em determinado ponto numa superfície. Quase todos os algoritmos derivam da

¹²⁹ Um algoritmo funciona como uma lista de instruções. Cumpridas as instruções fica completa a tarefa para o qual foi concebido.

“render equation” de James Kajiya criada em 1986. Kajiya baseia a sua ideia na teoria de transferência de calor irradiado (Carlson 2003, *section 19*).

Esforços para que se consiga chegar ao cálculo de GI em tempo-real têm sido desenvolvidos por diversas entidades, nomeadamente as experiências levadas a cabo por investigadores como David Bucciarelli e Thiery Perrin ou os estudos publicados por Sun Xin da Zhejiang University, são passos importantes para mostrar que é possível chegar no futuro a um *rendering* em tempo-real. Conseguindo obter *renders* com cálculos de GI cada vez mais rápidos, vão abrindo o caminho para se atingir esse objectivo. Paralelamente têm-se ainda desenvolvido tentativas para se adaptarem os algoritmos de GI ao *hardware* especialmente desenvolvido para trabalhar com *scanline rendering* (Hachisuka 2005).

F.3.5.2 RADIOSIDADE



Fig. 282a/282b – a) a luz atinge a bola vermelha reflectindo a mesma luz avermelhada nos objectos em redor. Este parâmetro confere ao chão branco em torno da bola um tingimento a vermelho. O efeito é subtil, mas uma vez que o olho humano está acostumado a ele no mundo real, a reprodução desse efeito ajuda a criar a ilusão. Na fig. b) é notável a diferença dos resultados obtidos com um *Render* com iluminação directa e outro calculado com radiosidade (Radiosity, © 2010 WordIQ.com & Chittim 2008)

A radiosidade é um dos métodos de iluminação global. Este algoritmo foi introduzido em 1981 por investigadores da universidade de Cornell, através do *paper* “*Modeling the interaction of light between diffuse surfaces*” e baseia-se na teoria de irradiação térmica, calculando a quantidade de energia luminosa transferida entre duas superfícies. É possível através de cálculo de radiosidade obter os dados da intensidade, cor e distribuição da luz ao deixar uma superfície específica. De forma a poder simplificar o algoritmo utilizado no cálculo

este assume que a irradiação térmica é constante ao longo das superfícies. Por consequência, para se obter uma imagem mais correcta, é preferível que a descrição da geometria da cena seja repartida em áreas mais pequenas ou *patches* que possam ser recombinaados na imagem final (*Radiosity*, © 2010 WordIQ.com).

O método da aplicação de radiosidade é uma técnica que se tem desenvolvido sobretudo através da sua aplicação em simulações correctas de luz fotométrica. A luz indirecta, as sombras suaves e o tingimento de cor entre as superfícies, os três produzem imagens mais realistas, algo que o *scanline rendering* não consegue oferecer. Contudo, continua a ser um método bastante demorado. No que respeito às suas vantagens comparativamente ao *raytracing*, esta calcula inter-reflexões difusas entre superfícies enquanto o *raytracing* não o faz. De igual forma, a radiosidade oferece resultados imediatos, enquanto o *raytracing* depende da quantidade de fontes de luz, sendo que o processo tem de ser repetido para cada uma delas a partir dos diferentes ângulos de visão (Chittim 2008 & Carlson 2003, *section 19*).

F.3.5.3 RAYTRACING

O *ray tracing* é um dos métodos mais populares utilizados em gráficos 3D para realizar o *rendering* de uma imagem com *Global Illumination*. Funciona como uma parte opcional do processo de *render* calculando reflexos e sombras de forma mais correcta que outros algoritmos. O método passa pelo reconhecimento da direcção tomada pelo raio de luz através da cena e pelo cálculo da reflexão, refacção e absorção do raio sempre que o mesmo intersecta um objecto na cena.

No mundo real o raio de luz parte de uma fonte de luz na forma de fótons que percorrem uma direcção, a partir daí uma ou mais de três coisas podem acontecer ao raio de luz: absorção, reflexão ou refacção. Se a superfície tem alguma propriedade transparente ou translúcida, uma porção do raio de luz é refractada numa direcção diferente enquanto absorve algum (ou todo) espectro

(possivelmente alterando a cor). Também pode reflectir todo ou parte do raio de luz, numa ou em várias direcções. Da mesma forma pode absorver parte do raio de luz, resultando numa diferença com uma perda de intensidade da luz reflectida e/ou refractada. A partir daqui os raios reflectidos e/ou refractados podem atingir outras superfícies das quais se utilizam para efeitos de cálculo as suas propriedades absorventes reflectivas e ou refractivas determinando as novas direcções dos raios resultantes (*Raytracing*, © 2010 WordIQ.com).

Contudo, traçar os raios desta forma num computador seria um desperdício de recursos uma vez que apenas uma fracção muito pequena dos raios na cena chegaria ao observador. Desta forma, para se evitar o uso desnecessário de memória o *raytracing* funciona de maneira inversa, dependendo não da fonte de luz mas sim da posição da câmara (ver Fig. 283). O raio é emitido no sentido inverso ao do comportamento real dos raios, isto é a partir da posição do observador, através do *pixel* do monitor até encontrar a superfície do modelo (Ivan 2010).

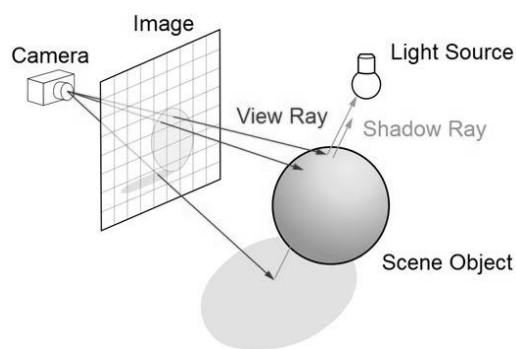


Fig. 283 - O *raytracing* funciona de maneira contrária ao comportamento da luz. Os raios utilizados no cálculo são emitidos a partir do ponto de vista do observador e não da fonte de luz (Ivan 2010).

Para determinar a iluminação total é seguido o raio a partir do ponto de encontro na superfície até cada uma das fontes de luz existentes no ambiente. Estes raios têm o nome de raios de sombras ou *shadow rays*. Para encontrar o ângulo de reflexão, primeiro é preciso determinar a normal à superfície. A partir daí, o computador determina o ângulo de incidência do raio de luz e por sua vez

atendendo às propriedades do material, o ângulo de reflexão. O mecanismo é o mesmo, apenas invertido para tornar o processo mais rápido. Determinados os raios necessários ao cálculo da iluminação da imagem, torna-se possível calcular os dados respeitantes a outras partes da imagem. Assim, o processo de *rendering* divide o campo de visão numa matriz de píxeis baseados na resolução da imagem que está a ser renderizada. Para cada *pixel*, um raio é projectado da câmara, batendo em todos os pontos de amostragem de todos os objectos que encontrar. Com o *anti-aliasing* (ver F.3.9.) mais que um ponto pode ser considerado por *pixel*, multiplicando assim o esforço necessário ao seu cálculo (ibid.).



Fig. 284 - *Render* produzido através do Software Kerkythea com aplicação de *ray tracing* (Aurélio 2008).

O *raytracing* transformou-se numa das maneiras preferidas de renderizar imagens. Motores de *render* como o *mental ray* e o *Yafaray* estão já a ser implantados directamente nos *packages* de modelação 3D mais populares. Contudo o *scanline rendering* não foi eliminado e diversos programas como o 3Dmax permitem renderizar imagens híbridas com materiais *raster* e *raytracing* (id.ibid.).

Entre os esforços desenvolvidos para tornar este tipo de *render* utilizável em tempo-real, procura-se conseguir através da aplicação das novas linguagens de programação a divisão do trabalho de *render* em partes mais

pequenas, para que estas possam ser calculadas em paralelo pelas poderosas placas gráficas comercializadas pela NVIDIA ou pela AMD. Espera-se que estes desenvolvimentos levem a que a sua utilização seja cada vez mais comum nos próximos 10 anos, *render engines* como os da *caustics RT* e da *Octane* têm vindo a confirmar essa possibilidade (id.ibid.).

F.3.5.4 PHOTON MAPPING

O *Photon mapping* é um algoritmo de GI baseado em *raytracing* e calculado em duas passagens. Foi desenvolvido por Henrik Jensen como uma alternativa às técnicas puras de *raytracing*. O *Photon mapping* separa os dados da iluminação dos da geometria, sendo que os primeiros passam a estar representados numa estrutura espacial representada por um mapa de fotões. Esta separação provou ser bastante eficaz uma vez que os termos da *render equation* podem ser calculados separadamente e guardados em mapas de fotões diferentes. Outra das razões pela qual o *photon mapping* é tão flexível, será pelo facto de permitir que determinadas partes da *rendering equation* possam ser resolvidas utilizando outras técnicas (Waters, 2003). Este algoritmo é capaz de simular a refacção da luz através da uma substância transparente, tal como o vidro ou a água, inter-reflexões difusas entre objectos iluminados e alguns efeitos causados por matéria de partículas tais como o fumo ou o vapor de água.

Na realidade o método funciona como mais um efeito que é adicionado ao *render* da cena. O *Photon mapping* é igualmente conhecido por *Caustics* e baseia-se na emissão de fotões¹³⁰ para a cena a partir de uma fonte de luz. Estes podem ser reflectidos, refractados ou desviados a partir de superfícies espelhadas, concentradas através do efeito provocado por lentes, ou outros efeitos simulando de forma correcta as diferentes maneiras da luz real se mover através de uma cena (ver Fig. 285). Este tipo de efeito se for utilizado de forma exagerada acaba por estragar o efeito realista da imagem pelo que deve ser utilizado de forma ponderada (Birn 2000b).

¹³⁰ raios de luz



Fig. 285 - O efeito de luz *caustics*, consegue reproduzir os efeitos de luz provocados por superfícies refractivas irregulares tais como os reflexos de água numa piscina sobre o ambiente envolvente (Waters 2003).

Sempre que um fotão intersecta a superfície, o ponto de intersecção, a direcção e a energia do fotão são guardadas num mapa de fotões. À medida que o fotão vai embatendo nas diferentes superfícies intermédias a energia é absorvida até mais nenhuma restar, deixando de ser necessário continuar a traçar o caminho do fotão.¹³¹ Podem ser enviados fotões em grupo ou individualmente. Diversos parâmetros regulam a qualidade de energia redesenhando o algoritmo em função do padrão desejado. Os mapas são geralmente executados previamente antes do *render* da imagem e guardados para posterior utilização. Ainda que este tipo de técnica tenha sido desenhada para trabalhar primeiramente com *raytracers* também já é utilizada com *scanline rendering* (*Photon Mapping*, © 2010 WordIQ.com).

¹³¹ É comum ser o utilizador a definir o número de vezes que o raio encontra outras superfícies.

F.3.6 OCLUSÃO DE SOMBRAS OU AMBIENTE

A oclusão de sombras ou ambiente é um método de sombreamento utilizado em gráficos 3D, para aumentar o grau de realismo dos modelos tendo em conta a atenuação da luz devido a oclusão. Não se baseia em dados físicos mas na probabilidade de cantos, intersecções, dobras, concavidades e rachas, estarem escurecidos devido a sombras ou acumulação de pó. Por esta razão esta técnica é muita vez apelidada de *dirt shader*. Sendo apenas uma aproximação simplificada de *Global Illumination* a aparência suave conseguida torna-a uma técnica muito importante na aplicação em *renders* rápidos, aumentando a percepção da forma tridimensional dos objectos.

A oclusão de ambiente é calculada através da emissão de um hemisfério de raios em todas as direcções a partir da superfície. A quantidade de luz no ponto é proporcional ao número de raios que chegarão ao *background* ou “*sky*”. Se os raios encontrarem outra face ficam ocluídos e são considerados em sombra, de contrário são considerados em luz. O *ratio* entre raios em sombra e raios em luz define quão brilhante deve ser o *pixel*. Como resultado, pontos rodeados de muita geometria tornam-se mais escuros na imagem enquanto pontos com pouca geometria circundante aparecem iluminados. A oclusão do ambiente pode ainda ser tingida pela cor do ambiente, do “*sky*” ou textura envolvente. Por sua vez, como não se baseia no cálculo do caminho efectuado pelos raios, a oclusão de ambiente continua a funcionar mesmo que não sejam aplicadas luzes na cena (*Blender.org*, n.d. f).

Diversas maneiras de calcular a oclusão de ambiente têm sido propostas, com vista à sua utilização em tempo-real. Michael Burnell da NVIDIA Corporation, melhorou substancialmente o algoritmo utilizado no cálculo de oclusão de ambiente ao introduzir a possibilidade da mesma ser usada em cenas dinâmicas com alguns cálculos de iluminação indirecta (ver Fig. 286). O seu método elimina as limitações das técnicas de pré-cálculo de oclusão de ambiente de objectos rígidos e estáticos em relação uns aos outros (Bunnell 2005b).



Fig. 286a/286b/286c - Na fig. c) vemos como a oclusão de ambiente e a luz indirecta realçam a luz ambiente; a título comparativo temos que na cena a) só é usada luz ambiente e a figura parece muito lisa; na figura b) foram acrescentadas sombras suaves através de oclusão de ambiente; na fig. c) foi acrescentada luz indirecta à oclusão de ambiente para um nível de realismo superior (Bunell 2005).

A sua técnica funciona pelo tratamento das malhas de polígonos, como elementos da superfície que possam emitir, transmitir ou reflectir luz, provocando sombras entre eles próprios. Este método é mais rápido pois não chega a calcular a visibilidade de um elemento em relação a outro, apenas calcula o sombreamento necessário para fazer a oclusão (*blocking*) da geometria. Este tipo de cálculo exige um processamento preparado para fazer *render* por passagens e acenta na utilização do GPU para calcular através de várias formas e em tempo-real a transferência de luz sobre e a partir de superfícies difusas. Esta técnica adequa-se à implementação de efeitos de GI em cenas dinâmicas com geometria deformável (e.g. *videogames*)(*ibid.*).

F.3.7 SCANLINE RENDERING E Z-BUFFER

O *Scanline rendering* é um algoritmo de *rendering* que funciona numa base ponto por ponto, em vez de numa base polígono a polígono. Um ponto na linha é calculado e sucessivamente os outros pontos da mesma linha. Uma vez terminada a linha, o *rendering* segue para a linha seguinte. A vantagem deste método recai no facto de não ser necessário mover os dados relativos às coordenadas de todos os vértices, da memória principal para a memória que está a efectuar os cálculos, de cada vez que um novo polígono é encontrado. Inclusive

é provável que alguns vértices já tenham sido detectados na memória através de polígnos vizinhos. A memória principal é geralmente muito lenta comparada com a ligação entre a unidade de processamento central (CPU) e a memória *cache*,¹³² evita-se assim por este processo reacerder a vértices na memória principal, acelerando bastante o processo. O *scanline rendering* é utilizado pelas modernas placas gráficas e é tipicamente acedido pelo programador através da aplicação de APIS como Open GL ou Direct X 3D (*Scanline Rendering*, © 2010 WordIQ.com).

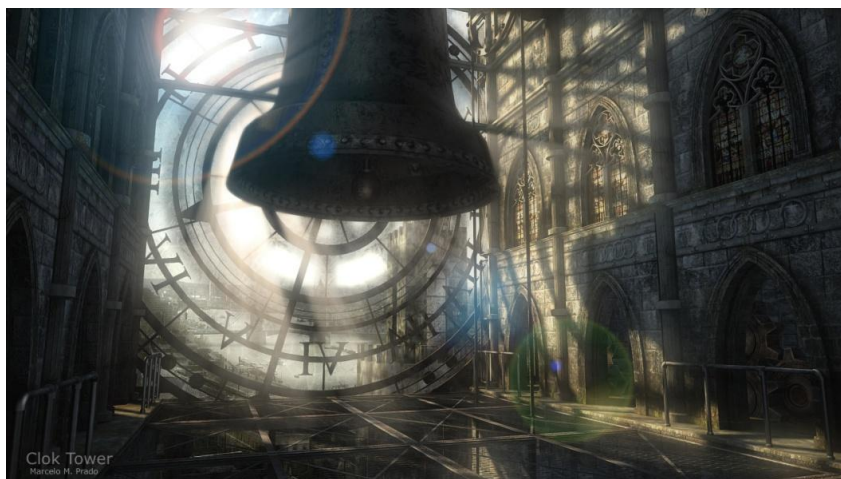


Fig. 287 - Imagem obtida utilizando o método de *scanline rendering* (*Unidev:Programação de Jogos*, 2003).

Este tipo de *rendering* pode ser integrado com diferentes tipos de algoritmos, sendo frequentemente agregado ao método de gestão das coordenadas de profundidade de uma imagem, *z-buffer*. Utilizado sobretudo a nível do *hardware*, mas também frequentemente a nível do *software*, este método é uma das soluções encontradas para o problema da “visibilidade”, onde se decide quais os elementos na cena renderizada que são desenhados e quais os que ficam escondidos.

¹³² A memória *cache* é um dispositivo de acesso rápido, interno a um sistema, que serve de intermediário entre um operador de um processo e o dispositivo de armazenamento ao qual esse operador acede. A vantagem principal na utilização da memória *cache* consiste em evitar o acesso ao dispositivo de armazenamento - que pode ser demorado - armazenando os dados em meios de acesso mais rápidos

Quando um objecto é renderizado por uma placa gráfica a profundidade de um *pixel* gerado (coordenada *z*) é armazenada num “*buffer*” (*z-buffer*). Este *buffer* gere-se geralmente por duas dimensões (*x* e *y*), um elemento para cada *pixel* no ecrã. Se outro objecto da cena precisar de ser renderizado no mesmo *pixel*, a placa gráfica compara as duas profundidades e escolhe aquela que se encontra mais próxima do observador. A profundidade escolhida é então guardada no *z-buffer*, substituindo a antiga. No fim o *z-buffer* permitirá à placa gráfica reproduzir correctamente a percepção de profundidade onde um objecto mais próximo esconde um mais afastado. A resolução do *z-buffer* tem uma grande influência na qualidade da cena, um *z-buffer* de 8-bits pode provocar artefactos quando dois objectos estão muito próximos, enquanto *z-buffer*'s de 16 ou 32-bit têm resultados muito superiores (*Z-buffer*, © 2010 WordIQ.com).

F.3.8 TESSELAÇÃO

As técnicas de tesselação foram desenvolvidas para trabalhar com grupos de polígonos dividindo-os em estruturas adequadas para se executar o *rendering*. O processo de transformação da representação de objectos, em representações poligonais das formas é chamado de tesselação, sendo também conhecido por triangulação. Este passo é utilizado durante o processo de *render* e permite transformar em tempo-real objectos construídos através de diversos métodos de modelação em malhas ou redes de triângulos interligados. Uma das vantagens principais deste método assenta no facto das malhas triangulares serem mais fáceis de renderizar através de *scanline rendering* do que as malhas de quadrados. Quando não são utilizados polígonos na modelação, não é possível aplicar a subdivisão dos polígonos em triângulos.

Os diferentes modelos 3D são geralmente demasiado complexos para poderem ser analisados directamente. Aplicada a sua divisão (tesselação) numa malha de pequenas peças, fáceis de analisar, geralmente tetraedros ou hexaedros irregulares torna-se ainda possível aplicar outras características às superfícies. Para se assegurar uma aproximação à superfície original diversos parâmetros são respeitados gerindo a malha da superfície.

De facto a tesselação só por si não melhora consideravelmente o realismo, uma vez que as texturas na maior parte dos casos até encobrem eficazmente a falta de polígonos. De facto, só se considera que a tesselação melhora o realismo se os novos triângulos forem usados para apresentar novas informações. Um dos métodos utilizados para o efeito é a utilização de mapas de deslocamento. Tal como a tesselação, o *displacement mapping* já existe há bastante tempo, no entanto só agora é possível retirar proveito da técnica através da sua utilização conjugada com a tesselação.¹³³ Segundo a NVIDIA a tesselação tornar-se-á tão importante e indispensável quanto o sombreado de píxeis. A consciência da sua importância levou esta empresa a desenvolver através das suas placas gráficas uma arquitectura com processamento paralelo preparada para trabalhar em *pipelines* de píxeis com várias unidades paralelas. O sucesso desta técnica deveu-se igualmente ao desenvolvimento das linguagens Direct X11, Open GL e Open CL (Bunnell 2005a).

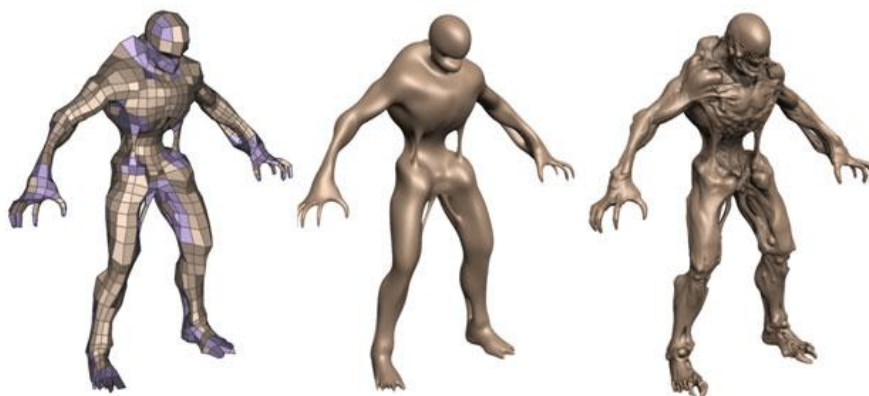


Fig. 288a/288b/288c – a) modelo simplificado; b) modelo suave depois de tesselado; c) modelo depois de aplicado um mapa de deslocamento; aplicada em tempo-real esta técnica permite que os personagens dos videojogos atinjam um realismo cinematográfico (NVIDIA: *DirectX 11 Tessellation*, © 2010 NVIDIA Corporation).

F.3.9 ANTI-ALIASING

Por último, temos que um dos parâmetros de preparação de *rendering* que mais se tem desenvolvido é o *aliasing*. As imagens digitais são

¹³³ Este tipo de mapeamento necessita que a superfície seja constituída de um grande número de vértices.

compostas por uma matriz de pontos (*bitmap*) ou seja um mapa de *bits*. Cada *bit* equivale à unidade mais básica de informação numa imagem, um ponto luminoso. Uma imagem com pouca definição tem pontos grandes e um aspecto quadriculado, serrilhado. Para esconder este aspecto aumenta-se o número de *bits* da imagem e controla-se o *aliasing*. Mais conhecido por *anti-aliasing*, este é o processo mais antigo utilizado para suavizar o contorno dos objectos representados numa imagem. Todavia, quanto melhor a qualidade da imagem desejada mais tempo demorará a renderizar.

Entre os métodos utilizados estão o Oversampling e o Filtering. O primeiro implica arranjar-se mais dados do que os necessários de forma a que seja feita uma interpolação de mais pontos ou raios que o número de píxeis da imagem final e os filtros funcionam pela reconstrução da imagem a partir da utilização de amostras de píxeis. Os filtros são mais demorados que o método de oversampling mas permitem chegar a imagens mais lisas, suavizando as bordas dos objectos e tornando a imagem mais natural (Valinho et al. 2007).