



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Projecto e Marketing num Contexto de Fabrico de Mobiliário: Compatibilização de Ferramentas Computacionais

Sara Eduarda Silva Cruz

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do Grau de Mestre em Tecnologia Multimédia.

Dissertação realizada sob a orientação do Professor Doutor A. Augusto de Sousa do Departamento de Engenharia Informática da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Dissertação realizada sob a co-orientação do Mestre José Fernando Madureira Martins do Instituto Superior da Maia.

Porto, 15 de Setembro de 2009

Existe apenas um bem, o saber, e apenas um mal, a ignorância.

Sócrates

A ciência de hoje é a tecnologia de amanhã.

Edward Teller

É fácil, quando se sabe como.

Charlie Chaplin

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. A. Augusto de Sousa, pela orientação científica, sugestões e críticas que contribuíram para os resultados apresentados neste trabalho.

Agradeço ao meu co-orientador, Mestre José Fernando Madureira Martins, pela orientação científica, disponibilidade e apoio permanente, amizade e incentivo que tornaram possível a concretização deste trabalho.

Os meus sinceros agradecimentos:

À minha família, especialmente aos meus pais pelo infinito amor, generosidade e incentivo em todas as etapas deste trabalho e da minha vida;

Ao Álvaro cujas reflexões e sugestões são uma inspiração continua, pelo amor, carinho e dedicação ao longo de todo este tempo;

À Empresa FAMO, pelo tempo disponibilizado, pelos modelos 3D cedidos e pelas documentações relativas ao mobiliário de escritório;

Agradeço a todos aqueles que, através das suas sugestões, dúvidas e críticas, ajudaram a tornar mais completa e clara a informação presente nesta dissertação.

Resumo

Este trabalho tem como principal objectivo encontrar uma solução para o problema da visualização e parametrização em tempo real de modelos 3D altamente detalhados (modelos de produção), criados originalmente em um sistema de CAD.

Num contexto industrial, os modelos 3D desenvolvidos são normalmente muito complexos devido ao imperativo de representarem, da forma mais fidedigna possível, objectos reais altamente detalhados (produtos acabados e componentes). A complexidade geométrica destes modelos exige um esforço de processamento muito elevado que, pelos padrões tecnológicos actuais, dificulta consideravelmente a sua visualização e parametrização em tempo real. Adicionalmente, essa mesma complexidade também contribui para um grande consumo de memória que, pelos mesmos padrões, complica a utilização destes modelos em ambientes de rede, principalmente através da Internet. No entanto, apesar de todas as dificuldades descritas, a visualização e parametrização de modelos 3D em tempo real é de grande importância, visto que constitui uma das interfaces potencialmente mais atractivas para a apresentação do produto ao cliente.

Uma possível solução para este problema consiste em gerar uma versão geometricamente simplificada (modelo de visualização) do modelo 3D original mantendo um aspecto visual semelhante ao de produção. Efectivamente, quando a principal finalidade de um determinado modelo consiste na sua visualização em tempo real, então o nível de detalhe geométrico não necessita de ser muito elevado. Nesta situação, os detalhes visualmente menos significativos poderão ser ignorados. O processo de parametrização pode então ser facilmente aplicado em tempo real aos modelos de visualização. No entanto, após a parametrização, existirão diferenças em termos de dimensões entre estes modelos e os seus congéneres de produção. Por uma questão de coerência, os modelos 3D de produção deverão igualmente sofrer as mesmas alterações resultantes da parametrização dos modelos simplificados.

A solução encontrada permite que o utilizador simplifique e parametrize os modelos 3D, sem comprometer a aparência visual e a integridade estrutural dos mesmos. A Implementação da solução recorreu à linguagem nativa do *3DS MAX*, o *MAXScript* e utilizou técnicas de eliminação de componentes visualmente pouco significativos e de multi-resolução baseadas na simplificação geométrica da superfície dos modelos 3D, o que tornou mais rápido e eficiente o processo de simplificação dos modelos 3D. Adicionalmente, o recurso à parametrização com restrições possibilita a realização de alterações dimensionais aos modelos 3D sem comprometer a integridade estrutural do objecto real correspondente.

O modelo 3D resultante do processo de simplificação/parametrização poderá ser facilmente integrado num ambiente de Realidade Virtual que funcione como interface com potenciais clientes.

Palavras-Chave: Modelação 3D, CAD, Realidade Virtual, Simplificação Geométrica e Parametrização com Restrições.

Abstract

The aim of this work is to find a solution for the problem of real-time visualization and parameterization of highly-detailed 3D models (known as production models) originally created in CAD systems.

The 3D models developed in an industrial context are usually geometrically complex because they must represent as closely as possible their real world counterparts (finished products and components). The geometrical complexity of these 3D models demands a huge processing power, which by the current technological standards, difficult their real-time visualization and parameterization. Furthermore, such complexity also contributes to a large memory usage which also complicates the use of these models over the Internet. However, in spite of these difficulties, the real-time visualization and parameterization of 3D models is of the utmost importance, since it's one of the most attractive interfaces for potential customers in the present times.

One possible solution for this problem is the creation of geometrically simplified versions of the original 3D model (known as visualization models) which maintain a similar visual appearance to the original model. When the main purpose of a certain model is its real time visualization, there is no need for such a high level of geometrical detail. In this case, the less visually significant details may be ignored. The process of 3D models parameterization can be easily applied, in real-time, to the generated visualization models. However, after the parameterization process has ended, there will be differences in dimensions between the visualization models and the production models. To maintain coherence between both types of models, the production models must received the same set of transformations resulting from the parameterization of the visualizations models.

The proposed solution allows the simplification and parameterization of 3D models, without compromising their visual appearance and structural integrity. The Implementation of the solution was based on the 3DS MAX native language, the MAX-Script, and used several techniques, such as: the elimination of less visually significant components, the geometric simplification of the surface of the models 3D based on multi-resolution and the real-time constraint parameterization of the simplified 3D models.

The resulting process of simplification and parameterization of 3D models can be easily integrated on a Virtual Reality environment and become the basis for a future interface with potential customers.

Keywords: 3D Modeling, CAD, Virtual Reality, Geometric Simplification and Constraint Parameterization.

Índice

Agradecimentos	III
Listas de Figuras	XI
Listas de Tabelas	XIII
Glossário.....	XV
1. Introdução	1
1.1. Sistemas de CAD versus Sistemas de Modelação 3D	2
1.2. Sistemas de CAD/CAM.....	4
1.2.1. Detalhe Elevado versus Visualização em Tempo Real	6
1.3. Objectivos	6
1.4. Estrutura da Tese.....	7
2. Estado da Arte.....	9
2.1. Modelo 3D, Objecto 3D e Sólido	9
2.2. Representação por Fronteira (B-Rep).....	10
2.3. Representação por Poliedros.....	12
2.4. Malhas Poligonais.....	14
2.4.1. Modelo de Malha Poligonal.....	14
2.4.2. Malha Poligonal	14
2.4.3. Simplificação de Malha e LOD	15
2.4.4. Classificação dos Algoritmos de Simplificação de Malha	17
2.4.4.1. Topologia	19
2.4.4.2. Mecanismos de Remoção de Polígonos	20
2.4.4.3. Tipo de Simplificação.....	24
2.5. Parametização com Restrições	24

2.6. Sumário do Capítulo	26
3. Análise do Problema.....	27
3.1. Simplificação do Modelo 3D	30
3.1.1. Eliminação dos Componentes Visualmente Pouco Significativos.....	32
3.1.1.1. Volume Relativo do Componente.....	32
3.1.1.2. Área Relativa do Componente.....	33
3.1.2. Simplificação Geométrica dos Componentes Não Eliminados	33
3.2. Parametrização do Modelo 3D.....	34
3.2.1. Planos de Corte.....	36
3.3. Sincronização do Modelo de Produção com o Modelo de Apresentação	38
3.4. Especificação da Solução	39
3.5. Solução Adoptada	43
3.5.1. Sistema de Modelação 3DS MAX.....	44
3.5.2. Linguagem de Programação <i>MAXScript</i>	45
3.6. Sumário do Capítulo	47
4. Implementação da Solução.....	48
4.1. Importação do Modelo 3D.....	49
4.2. Eliminação de Componentes Visualmente Pouco Significativos.....	49
4.2.1. Volume Relativo	50
4.2.2. Área Relativa.....	52
4.3. Simplificação Geométrica da Superfície dos Componentes	54
4.4. Definição de Parâmetros e Planos de Corte	56
4.4.1. Classe Parâmetro.....	58
4.5. Parametrização do Modelo 3D.....	59
4.5.1. Classificação de Componentes e Vértices	60
4.5.2. Alteração dos Parâmetros	63
4.6. Sincronização do Modelo de Produção com o Modelo de Apresentação	63
4.7. Sumário do Capítulo	64

5. Avaliação dos Resultados	65
5.1. Eliminação de Componentes Visualmente Pouco Significativos.....	67
5.1.1. Modelo <i>Mater</i>	67
5.1.2. Modelo <i>Kima</i>	68
5.2. Simplificação da Superfície das Componentes	70
5.2.1. Modelo <i>Mater</i>	70
5.2.2. Modelo <i>Kima</i>	72
5.3. Conclusão da Avaliação de Resultados.....	73
6. Conclusões	74
Referências Bibliográficas.....	76
Webgrafia	79
ANEXOS	82
Anexo I.....	83
Anexo II.....	88

Listas de Figuras

Fig. 1 - Sistemas de Natureza Genérica: <i>AutoCAD</i> e <i>3DS MAX</i>	3
Fig. 2 - Sistemas de Natureza Especializada: <i>Auto-Furniture</i> e <i>Poser</i>	4
Fig. 3 - Representação do vector normal de um sólido.	10
Fig. 4 - Fronteira de um sólido constituído por um conjunto de faces agregadas [Casacurta99].	11
Fig. 5 - Um sólido com uma fronteira <i>2-manifolds</i> (à esquerda) e um sólido sem uma fronteira <i>2-manifolds</i> (à direita).	11
Fig. 7 - Poliedros com um número crescente de <i>Holes</i> e <i>Genus</i>	13
Fig. 6 - Poliedro com buracos aplicando a Generalização da Fórmula de Euler.	13
Fig. 8 - Malha Triangular (lado esquerdo) e Malha Poligonal (lado direito).	15
Fig. 9 - Malha de um coelho para diferentes tamanhos com três níveis de detalhe (LOD) [Silva05].	16
Fig. 10 - Cilindro sem informação geométrica redundante (à esquerda) e um cilindro equivalente com informação geométrica redundante (à direita).....	18
Fig. 11 - Alteração geométrica mas não topológica da esfera.	19
Fig. 12 - Simplificação de uma malha poligonal com preservação da topologia (exemplo a e b) e sem a preservação da mesma (exemplo a e c) [Luebke01].	20
Fig. 13 – Representação antes e depois da técnica de aglomeração de vértices.	23
Fig. 14 - Complexidade geométrica de um tampo de secretária <i>versus</i> um parafuso.	31
Fig. 15 - Representação da base da secretária <i>Mater</i> através de Ilhargas.	33
Fig. 16 - Efeito de distorção provocado pelo factor de escalamento de uma secretária.	35
Fig. 17 - Representação de um plano de corte horizontal posicionado no centro geométrico da secretária <i>Mater</i>	37
Fig. 18 - Identificação do lado do plano de corte onde ocorre a transformação (exemplo a). Resultado da transformação (exemplo b).....	37
Fig. 19 - Representação de uma região central que não sofre alteração.	38

Fig. 20 - Ferramentas de Planificação 3D: <i>Navigram e Home Ikea Planner</i>	43
Fig. 21 - Interface do sistema de Visualização 3DS MAX.....	44
Fig. 22 - Interface do editor de MAXScript.....	46
Fig. 23 - Interface da aplicação de simplificação de eliminação de componentes visualmente pouco significativos.	50
Fig. 24 - Representação do paralelepípedo envolvente (<i>Bounding Box</i>) de um parafuso.	52
Fig. 25 - Representação da face mais significativa de um paralelepípedo envolvente (<i>Bounding Box</i>) de um componente.	53
Fig. 26 - Interface da aplicação de simplificação geométrica da superfície dos componentes....	55
Fig. 27 - Interface da aplicação de definição de parâmetros e planos de corte.	57
Fig. 28 - Definição de planos de Corte.....	57
Fig. 29 - Interface da aplicação de parametrização do modelo 3D.....	60
Fig. 30 – Diagrama da Matriz 2D do <i>Vec_plano_obj</i>	61
Fig. 31 – Diagrama da Matriz do <i>Vec_plano_obj_vert</i>	62
Fig. 32 - Modelos 3D Originais (da esquerda para a direita: secretária <i>Mater</i> , secretária <i>Ekeno</i> , bloco <i>Smile</i> e bloco <i>Kima</i>).....	65
Fig. 33 - Modelo de uma Secretária <i>Mater</i> a partir dos quais foram gerados modelos simplificados.....	67
Fig. 34 - Modelo de um Bloco <i>Smile</i> a partir dos quais foram gerados modelos simplificados. ..	84
Fig. 35 - Versões Simplificadas para dois níveis de detalhe do Bloco <i>Smile</i>	86
Fig. 36 - Interface do sistema de Visualização 3DS MAX.....	88
Fig. 37 - Painel de comandos da implementação proposta.....	89
Fig. 38 - Janela Flutuante - Eliminação.....	89

Listas de Tabelas

Tabela 1 – Identificação do nº de faces, vértices e componentes que compõem os modelos originais.	66
Tabela 2 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes da secretaria Mater em três versões de simplificação de eliminação de componentes.	67
Tabela 3 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes do Bloco <i>Kima</i> em três versões de simplificação de eliminação de componentes.	69
Tabela 4 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes do modelo secretária Mater para duas versões simplificadas da superfície dos componentes (para 50% e 25 % do número original de faces).	70
Tabela 5 - Comparação do nº de vértices do modelo Mater entre o resultado obtido das versões de simplificação por eliminação das componentes (Eliminação: Máxima, Média Detalhe e Mínima Detalhe) e das versões de simplificação da superfície das componentes (Multi-Resolução: Máximo, Mínimo).....	71
Tabela 6 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes do modelo <i>Kima</i> para duas versões simplificadas da superfície dos componentes (para 50% e 25 % do número original de faces).....	72
Tabela 7 - Comparação do nº de vértices do modelo <i>Kima</i> entre o resultado obtido das versões de simplificação por eliminação das componentes (Eliminação: Máxima Detalhe, Média Detalhe e Mínima Detalhe) e das versões de simplificação da superfície das componentes (Multi-Resolução: Máximo, Mínimo).....	72
Tabela 8 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes da secretaria <i>Ekeno</i> em três versões de simplificação de eliminação de componentes.	84
Tabela 9 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes do Bloco <i>Smile</i> em três versões de simplificação de eliminação de componentes.	85
Tabela 10 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes do modelo Ekeno para duas versões simplificadas da superfície dos componentes (para 50% e 25 % do número original de faces).....	85

Tabela 11 - Comparação do nº de vértices do modelo Ekeno entre o resultado obtido das versões de simplificação por eliminação das componentes (Eliminação: Máxima Detalhe, Média Detalhe e Mínima Detalhe) e das versões de simplificação da superfície das componentes (Multi-Resolução: Máximo, Mínimo).	86
Tabela 12 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes do modelo Smile para duas versões simplificadas da superfície dos componentes (para 50% e 25 % do número original de faces).....	87
Tabela 13 - Comparação do nº de vértices do modelo Smile entre o resultado obtido das versões de simplificação por eliminação das componentes (Eliminação: Máxima Detalhe, Média Detalhe e Mínima Detalhe) e das versões de simplificação da superfície das componentes (Multi-Resolução: Máxima, Mínima).....	87

Glossário

Sigla	Significado
AIM	<i>Autodesk Inventor Model</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
BASIC	<i>Beginners All-purpose Symbolic Instruction Code</i>
B-REP	<i>Boundary Representation</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CSG	<i>Constructive Solid Geometry</i>
GUI	<i>Graphic User Interface</i>
ISO	<i>International Standardization Organization</i>
LOD	<i>Level Of Detail</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
WIMPS	<i>Windows, Icons, Menus and Pointer System</i>

Capítulo I

1. Introdução

A Computação Gráfica é um ramo da ciência da computação que se dedica ao estudo de teorias, técnicas e métodos que possibilitam a síntese de imagens recorrendo ao uso de computadores [McGrawHill02]. Poderá, alternativamente, ser definida, de uma forma mais abrangente, segundo a ISO, como sendo: métodos e técnicas para conversão de dados para dispositivos gráficos, através do computador [Figueiras87].

Adicionalmente, segundo Foley [Foley95], as aplicações da Computação Gráfica estendem-se para além deste campo relativamente especializado. Na sua curta história, atraiu algumas das pessoas mais criativas do mundo da Informática, e não só, para este domínio. Estes emergem de todas as áreas, desde a arte até à ciência, passando pela música, a dança e o cinema. A sua lista de aplicações é enorme, destacando-se, segundo o mesmo autor [Foley95], as seguintes:

- Ciência e Tecnologia;
- Cartografia;
- Medicina;
- Sistemas Multimédia;
- Simulação e Animação para Visualização Científica e Entretenimento;
- Sistemas de CAD e Sistemas de Modelação 3D.

1.1. Sistemas de CAD *versus* Sistemas de Modelação 3D

O trabalho desenvolvido no contexto desta tese de mestrado enquadra-se nos dois últimos tipos de aplicações, da lista anterior. Realmente, os sistemas de CAD e os sistemas de Modelação 3D consistem em ferramentas informáticas orientadas para a criação de modelos gráficos tridimensionais com uma forte intervenção do utilizador, sendo que estes modelos são utilizados em diversas áreas (como o Cinema, a Publicidade, a Arquitectura, os Jogos de Computador, a Multimédia, a Realidade Virtual/Aumentada, etc.).

Nos Sistemas de CAD, os modelos 3D são criados com um elevado rigor geométrico, uma precisão considerável em termos de dimensões e uma inequívoca identificação das unidades de medida utilizadas. Os modelos criados nestes sistemas possuem um detalhe extremamente elevado, visto que todos os componentes que compõem o objecto real são igualmente modelados, mesmo que visualmente pouco significativos (por exemplo: um parafuso no interior de um armário). Estas características são importantes sempre que o modelo 3D seja utilizado num contexto de um processo de concepção/design e/ou fabrico/construção. Os sistemas de CAD estão intimamente associados a estes processos, uma vez que são muito utilizados nos domínios da Arquitectura, da Engenharia Naval e Aeronáutica, da Indústria Automóvel, Electrodomésticos, Mobiliário, etc.

Os Sistemas de Modelação 3D são muito semelhantes aos Sistemas de CAD, mas, em contrapartida, colocam pouco ênfase no elevado rigor geométrico, na alta precisão em termos de dimensões com que os modelos 3D são criados mesmo em termos de unidades utilizadas, apresentam uma certa tendência para as unidades genéricas, evitando, dessa forma, as unidades reais (como o milímetro ou o metro). Adicionalmente, os modelos criados são geralmente menos detalhados do que os modelos de um Sistema de CAD, uma vez que os componentes visualmente pouco significativos não são modelados ou são representados através do uso de texturas. Em suma, estes modelos não são destinados a servir de referência para um posterior processo de fabrico ou construção. Habitualmente são utilizados em

contextos estritamente virtuais (por exemplo: nos Jogos de Computador; no Cinema; na Publicidade; na Realidade Virtual e Aumentada; etc.).

Ambos os sistemas (de CAD e de Modelação 3D) podem ser de uma natureza genérica, preparados para modelar qualquer tipo de objecto (por exemplo: *AutoCAD* [<http://AutoCAD>]; *Inventor* [<http://Inventor>]; *SolidWorks* [<http://SolidWorks>]; *3DS MAX* [<http://3DSMAX>]; *Maya* [<http://3DSMaya>]; *Blender* [<http://Blender>]; etc. (Figura 1)) ou de uma natureza especializada, orientados para a modelação de objectos 3D pertencentes a um domínio específico (por exemplo: *Auto-Furniture* [<http://AutoFurniture>]; *Revit Architecture* [<http://RevitArchitecture>]; *3D Runway* [<http://3DRunway>]; *Poser* [<http://Poser>]; *Bryce* [<http://Bryce>]; etc. (Figura 2)).

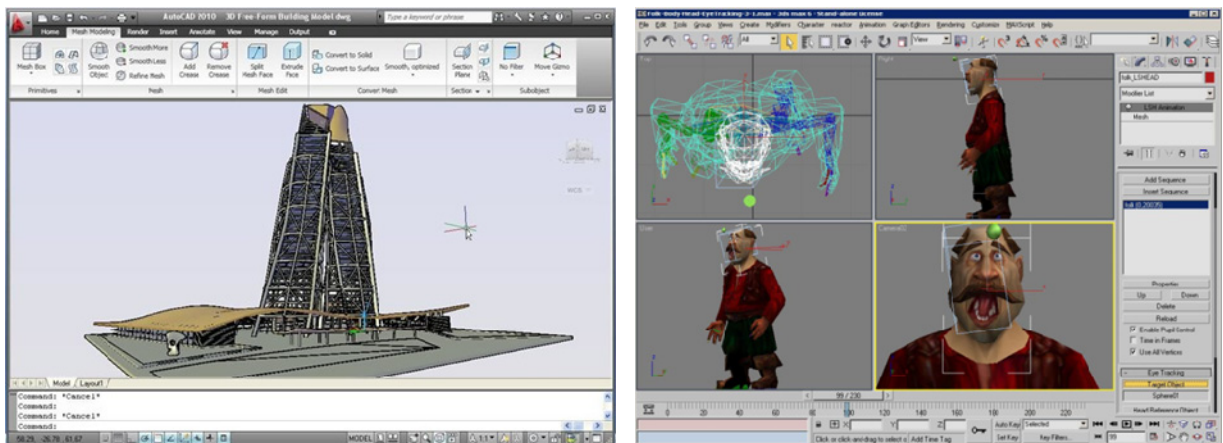


Fig. 1 - Sistemas de Natureza Genérica: *AutoCAD* e *3DS MAX*.

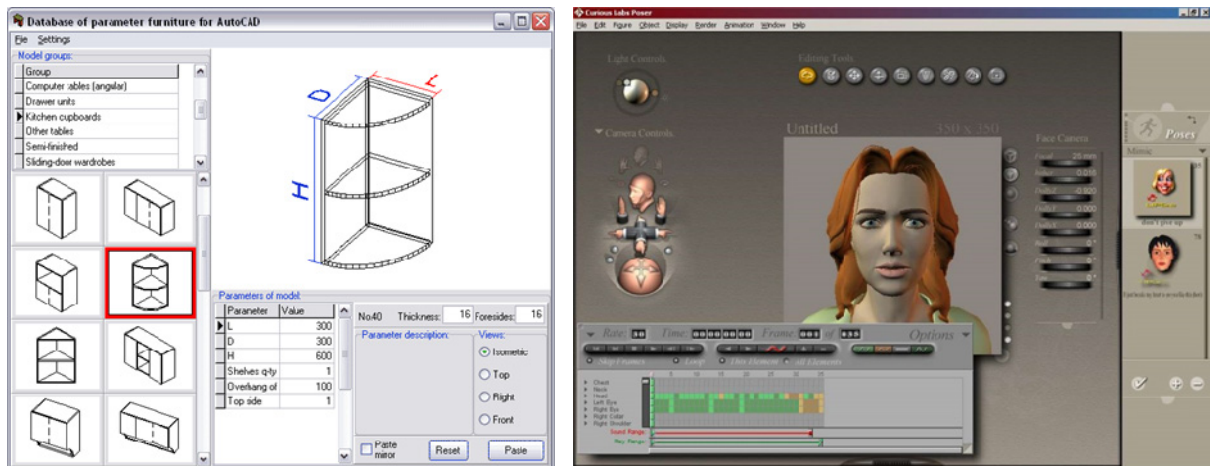


Fig. 2 - Sistemas de Natureza Especializada: *Auto-Furniture* e *Poser*.

1.2. Sistemas de CAD/CAM

Num ambiente industrial, os sistemas de CAD são utilizados na realização dos desenhos técnicos dos produtos acabados/componentes a serem fabricados e os sistemas de CAM são utilizados para automatizarem o processo de fabrico, levando em conta pormenores como a forma em bruto das peças a fabricar, os acabamentos das superfícies, a optimização do emprego dos materiais, o consumo de energia, etc.

Os dois sistemas são geralmente conjugados numa definição comum denominada por CAD/CAM, porque o segundo termo é uma actividade continuada do primeiro, sendo ambos cruciais para o desenvolvimento do produto e para o seu fabrico. Um sistema de CAD/CAM realiza a integração completa entre os procedimentos de concepção e de fabrico. Os processos de fabrico são muitas vezes determinantes do tipo de modelação 3D pois, em geral, pretende-se modelar os objectos de tal forma que a transformação dos modelos em uma descrição dos processos de fabrico seja o mais directa e explícita possível (para além de levar em conta outros aspectos importantes para esse processo, tais como: a fiabilidade; a rapidez; a economia no consumo da matéria-prima e outros recursos; a segurança no trabalho; etc.).

Segundo Kerry [Kerry97], os sistemas de CAD/CAM têm por objectivo satisfazer as necessidades de criação, interpretação e execução dos procedimentos de fabrico e possibilitam uma rápida reutilização desses procedimentos quando necessário. Utilizadas, inicialmente, para o desenho técnico em duas dimensões, rapidamente evoluíram para a criação de modelos 3D. A grande vantagem de conceber projectos através da representação tridimensional sobre a representação bidimensional¹, é que a primeira permite obter diferentes vistas do modelo, o que auxilia e facilita a sua compreensão, sem precisar de o interpretar a partir da representação das vistas, diminuindo a possibilidade de erros por incoerências, principalmente quando os modelos possuem um elevado grau de detalhe ou complexidade.

Pode-se afirmar que os sistemas de CAD/CAM proporcionaram um enorme avanço no desenvolvimento do desenho técnico, devido à possibilidade de se poder fabricar o produto a partir do seu modelo 3D, o que significa uma enorme optimização do fluxo de trabalho no desenvolvimento de projectos. Permitiram assim dar um salto qualitativo em termos de rigor e de tempo despendido na criação e concretização dos projectos, sendo capazes de auxiliar na superação de penosas rotinas de representação redundante, graças às possibilidades de automação de diversas etapas do processo de design/fabrico.

Uma das tendências mais recentes no mercado de sistemas de CAD/CAM consiste na crescente necessidade destes serem especializados no domínio de uma determinada indústria. No caso específico do trabalho efectuado no âmbito desta tese, optou-se pelo domínio da indústria do mobiliário de escritório.

Actualmente, o processo de fabrico de mobiliário de escritório exige que a concepção da sua gama seja baseada em sistemas de CAD. Como já foi referido, este tipo de sistemas oferece um conjunto completo de ferramentas que permitem modelar em 3D, com um detalhe geométrico considerável. Deste modo, os modelos resultantes possuem todos os detalhes importantes para o fabrico dos seus congéneres do mundo real.

¹ Representação através das vistas ortográficas.

Em conjugação com estes sistemas, é habitual a utilização de aplicações de visualização em tempo real dos modelos 3D desses produtos e que, em muitos casos, também funcionam em rede. Normalmente, estas aplicações são baseadas em Sistemas de Modelação 3D já disponíveis no mercado. A área de *marketing* directo a potenciais clientes apresenta várias necessidades a este nível como, por exemplo, a eventual alteração de pormenor de alguns elementos constituintes dos produtos de forma a satisfazer as necessidades específicas de cada cliente.

1.2.1. Detalhe Elevado *versus* Visualização em Tempo Real

Devido ao elevado nível de detalhe dos modelos 3D criados em sistemas de CAD, quando estes últimos são exportados para as aplicações de visualização, acabam por exigir um elevado volume de recursos computacionais que dificultam a sua visualização e parametrização em tempo real. Infelizmente, nesta situação, muitas empresas optam, ainda assim, por utilizar os mesmos modelos 3D para ambos os fins, o que implica resultados medíocres na visualização em tempo real. Uma solução comum, se bem que trabalhosa e demorada, consiste em desenvolver, através de um processo muitas vezes manual, versões simplificadas dos modelos 3D originais.

1.3. Objectivos

O presente trabalho propõe uma solução alternativa para este problema, que consiste num conjunto de metodologias que cumpram os seguintes objectivos:

- Converter automaticamente os modelos 3D altamente detalhados de mobiliário (modelos de produção), desenvolvidos em sistemas de CAD, para modelos consideravelmente mais simples (modelos de apresentação) para que possam ser facilmente manipulados e visualizados, em tempo real, em aplicações de visuali-

zação 3D, com a finalidade de serem utilizados nas áreas de *marketing* (simplificação do nível de detalhe);

- Visualizar, com diferentes parametrizações realizadas de forma expedita, os modelos de apresentação, em ambiente de aplicação adequada (visualização e parametrização interactiva).
- Converter, automática ou semi-automaticamente, os modelos de apresentação modificados para os modelos de produção (inclusão de detalhe de fabrico).

As aplicações implementadas no contexto das metodologias anteriores serão avaliadas num ambiente profissional associado a uma empresa industrial no domínio do mobiliário de escritório, seleccionada no contexto desta tese como caso de estudo.

A empresa em causa designa-se por FAMO – Indústria de Mobiliário de Escritório, Lda [<http://Famo>]. A FAMO é uma empresa com mais de 60 anos de existência, de médias dimensões, sediada em Lousada, no distrito do Porto, e detém, actualmente, a maior quota de exportação do mercado ibérico (mais de 65% da sua produção é orientada para o mercado internacional).

1.4. Estrutura da Tese

Esta dissertação é composta por um total de sete capítulos, que são descritos resumidamente a seguir: o primeiro capítulo tem como objectivos enquadrar o tema escolhido e apresentar a principal motivação para a sua realização. Adicionalmente, descreve os principais objectivos do trabalho desenvolvido.

No segundo capítulo realiza-se uma descrição dos principais conceitos e técnicas utilizadas na simplificação geométrica e parametrização de modelos 3D.

No terceiro capítulo é estudado o problema da simplificação de modelos 3D e da sua parametrização em tempo real, tanto numa perspectiva geral como no contexto mais espe-

cífico do mobiliário de escritório relativo à empresa usada como caso de estudo. Adicionalmente é especificada uma solução para o problema analisado que tenta, sempre que possível, tirar o Máximo partido das plataformas tecnológicas já utilizadas pela empresa. Nesse sentido, é realizada uma descrição sumária de todas as plataformas seleccionadas para a implementação da solução.

No quarto capítulo procede-se a uma descrição pormenorizada do processo de implementação da solução proposta, salientando-se as principais dificuldades encontradas durante o seu desenvolvimento.

O quinto capítulo consiste na avaliação de resultados onde é realizada uma análise do desempenho da solução desenvolvida, quer nos seus aspectos mais qualitativos ou visuais, quer nos aspectos de eficiência dos resultados obtidos.

No sexto capítulo são apresentadas as principais conclusões retiradas da realização deste trabalho que incluem um resumo dos objectivos atingidos e uma lista de desenvolvimentos futuros.

O sétimo e último capítulo consiste nos anexos que apresentam os resultados obtidos sobre os processos de simplificação em dois modelos 3D e um breve manual de utilização das aplicações desenvolvidas no contexto desta tese.

Capítulo II

2. Estado da Arte

Este capítulo começa por uma introdução à temática da Modelação 3D, apresentando alguns conceitos fundamentais. Em seguida, efectua um resumo do estado da arte relativamente à simplificação geométrica de modelos 3D e a respectiva parametrização geométrica com restrições topológicas.

2.1. Modelo 3D, Objecto 3D e Sólido

A crescente utilização de modelos tridimensionais para representar objectos reais ou imaginários impulsionou o desenvolvimento de sistemas de modelação cada vez mais versáteis e abrangentes. Um sistema de modelação possibilita a criação, manipulação e a visualização de modelos 3D compostos por diversos objectos. Um objecto 3D pode ser classificado como um sólido se o seu volume (o espaço interior delimitado pela superfície do objecto) for identificável sem qualquer tipo de ambiguidade. A complexidade de um modelo 3D pode variar de um simples cubo até objectos extremamente complexos, como por exemplo: um avião; um navio; um edifício ou até mesmo toda uma cidade.

2.2. Representação por Fronteira (*B-Rep*)

Os sólidos podem ser representados através de diferentes tipos de representações, das quais se salienta a Representação pela Fronteira (também conhecida por *B-Rep*, abreviatura de *Boundary Representation*) que é uma das mais utilizadas. Tal como o nome indica, o volume do sólido é delimitado pela sua fronteira que corresponde à superfície do objecto. Associada a cada face da superfície, existe um vector normal que aponta para o exterior do objecto [Hoffmann89] (Figura 3).

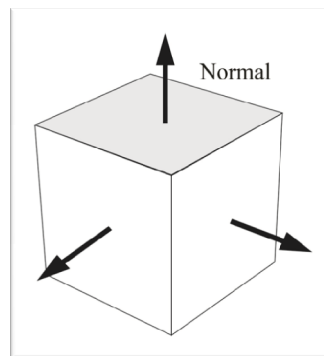


Fig. 3 - Representação do vector normal de um sólido.

Os sólidos representados através da *B-Rep* possuem fronteiras do tipo *2-manifold*. A palavra *manifold*, do inglês arcaico, significa algo que possui muitas partes, muitos elementos ou formas. Por definição, as fronteiras do tipo *2-manifold* são aquelas nas quais cada uma das arestas existentes deverá ser partilhada obrigatoriamente por duas faces [Hoffmann89] (Figura 4). Se esta condição não for respeitada, a identificação do volume do objecto poderá tornar-se ambígua, o que implica que já não poderá ser considerado um sólido.

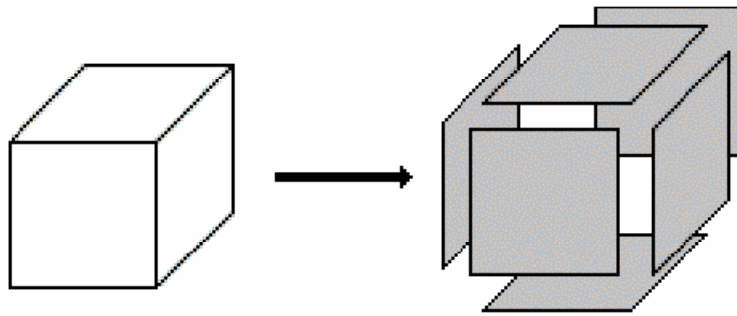


Fig. 4 - Fronteira de um sólido constituído por um conjunto de faces agregadas [Casacurta99].

Ainda, segundo Mäntylä [Mäntylä88], uma fronteira *2-manifold* é um espaço topológico, onde cada ponto tem uma vizinhança topologicamente equivalente a uma região do espaço Euclidiano bidimensional. Assim, num objecto com superfícies que constituam uma fronteira do tipo *2-manifold*, todos os seus pontos têm uma vizinhança topologicamente equivalente a uma região. A Figura 5 exemplifica a representação de dois sólidos, um com e outro sem uma fronteira *2-manifold*.

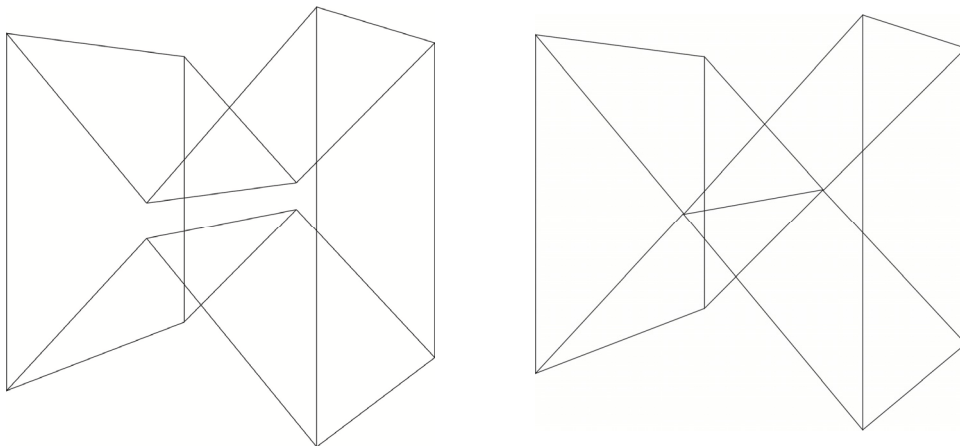


Fig. 5 - Um sólido com uma fronteira *2-manifolds* (à esquerda) e um sólido sem uma fronteira *2-manifolds* (à direita).

2.3. Representação por Poliedros

Os poliedros são objectos 3D delimitados por polígonos, em que cada aresta pertence sempre a dois polígonos. Essencialmente, um poliedro pode ser considerado um sólido com uma fronteira do tipo *2-manifolds*. Um poliedro simples, ou seja sem buracos, respeita a Fórmula de Euler (1), proposta por Leonhard Euler² em 1752:

$$V - A + F = 2 \quad (1)$$

que estabelece uma relação entre o número de vértices (V), o número de arestas (A) e o número de faces (F) do sólido.

A verificação da Fórmula de Euler é uma condição necessária mas não suficiente, para que um objecto 3D seja considerado um poliedro. Para tal, é ainda necessário que cada aresta ligue dois vértices e seja partilhada por duas faces e que pelo menos três arestas se encontrem em cada vértice. Um objecto só poderá ser considerado um poliedro e consecutivamente um sólido com uma fronteira *2-manifolds*, se respeitar as condições mencionadas.

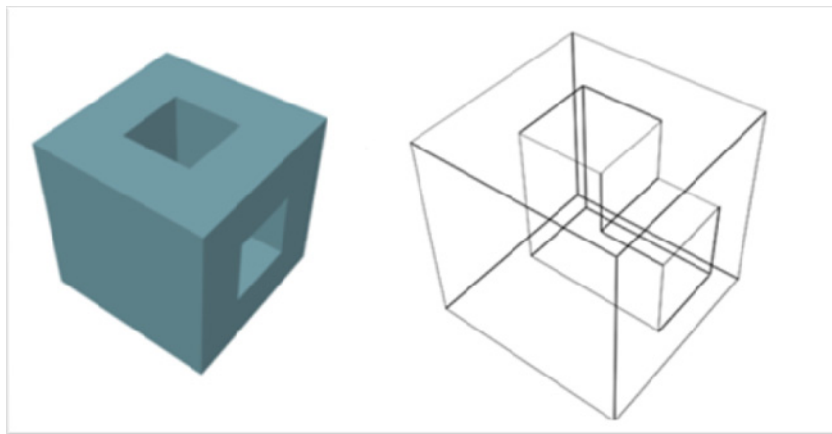
Para poliedros gerais (com ou sem buracos), a Fórmula de Euler é generalizada para Fórmula de Euler-Poincaré (2), também conhecida como Generalização da Fórmula de Euler [Mäntylä88]:

$$V - A + F - H = 2(C - G) \quad (2)$$

em que H (*Holes*) é o número de buracos existente em cada uma das faces (polígonos) do poliedro, C o número de componentes distintos e independentes do poliedro e G (*Genus*) o número de buracos que atravessam o poliedro de lado a lado.

² Leonhard Euler foi um matemático suíço que nasceu em 1707, em Basileia, e morreu em 1783, em São Petersburgo, Rússia. Foi aluno de Bernouilli e produziu, a despeito de uma cegueira progressiva, mais de 900 trabalhos de matemática, mecânica, astronomia, óptica, ciência naval e música [Struik87].

Na figura 6 pode observar-se um poliedro com buracos usando a fórmula (2), correspondente à generalização da Fórmula de Euler, obtendo-se os seguintes resultados:



Vértices (V) = 20
Arestas (E) = 30
Faces (F) = 12
Holes (H) = 2
Componentes (C) = 1
Genus (G) = 1

$$20-30+12-2=2(1-1)$$

$$0 = 0$$

Fig. 6 - Poliedro com buracos aplicando a Generalização da Fórmula de Euler.

Alguns objectos, como um cone ou um cubo, possuem *Holes* e *Genus* iguais a zero, ou seja não existe nenhum buraco na sua superfície; outros objectos, geralmente de natureza mais complexa, possuem valores superiores. A Figura 7 ilustra a definição de *Holes* (buracos em faces) e *Genus* (buracos no sólido).

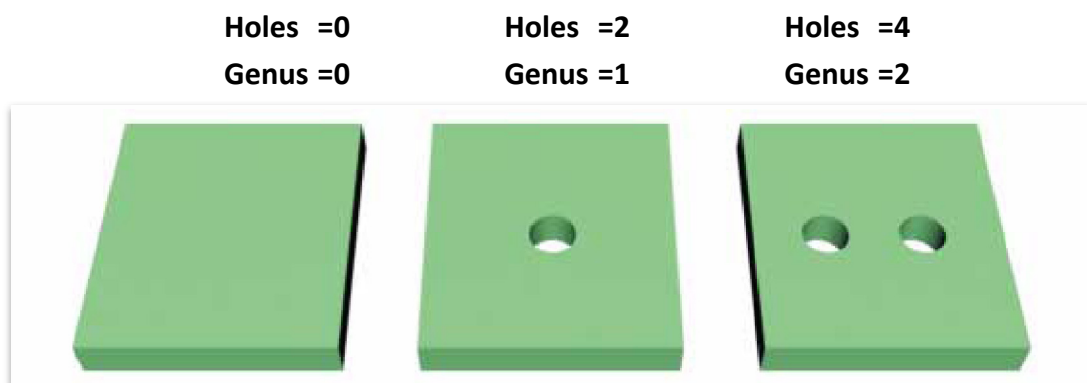


Fig. 7 - Poliedros com um número crescente de *Holes* e *Genus*.

2.4. Malhas Poligonais

A representação pela fronteira, com recurso a uma malha poligonal, é, actualmente, a mais comum na modelação 3D. O modelo de malha poligonal descreve as superfícies dos objectos através de uma colecção de polígonos.

2.4.1. Modelo de Malha Poligonal

As malhas poligonais têm vindo a ter uma utilização crescente na Computação Gráfica, devido à sua versatilidade na representação de objectos 3D (sejam eles sólidos ou não). Actualmente, as malhas poligonais são utilizadas em diferentes domínios, que vão desde as aplicações de CAD e visualização até aos jogos de computador, passando também pela animação 3D. De facto, no que toca a malhas poligonais tem sido objecto de intensa investigação, particularmente na edição de malhas [kobbelt99, Suzuki00, Sorkine04] e na análise multi-resolução aplicada a malhas [Hoppes96, Zorin97, Garland99, Kobbelt00, Bostch03].

As malhas com alto nível de detalhe podem ser extremamente complexas, exigindo, em certos casos, recursos computacionais muito acima das capacidades actualmente existentes para a visualização/manipulação em tempo real. Deste modo, as técnicas de simplificação da malha devem impreterivelmente ser utilizadas para que seja possível visualizar [Rodrigues07] e parametrizar o objecto 3D com poucos recursos.

2.4.2. Malha Poligonal

Uma malha poligonal é uma superfície ou objecto 3D representado por meio de um conjunto de polígonos que, tipicamente, podem ser subdivididos em um conjunto de triângulos. Uma parte substancial dos sistemas de CAD e de Modelação que representam os objectos 3D através da representação por malha poligonal fazem-no através de malhas triangulares (por exemplo, o *3DS MAX* [http3DSMAX] e o *Maya* [httpMaya], etc). Isto significa que toda e qualquer face, (poliedro) que componha a fronteira (superfície) do objecto,

deve ser dividida em triângulos (Figura 8). As malhas triangulares são uma representação que possibilita uma elevada flexibilidade na sua manipulação. Em contrapartida, também aumentam a complexidade geométrica de um objecto 3D. Em objectos muito detalhados é imperativa a utilização de estratégias para simplificar a complexidade geométrica da respectiva malha, sendo das soluções mais utilizadas baseada na utilização de algoritmos de simplificação [Avila03].

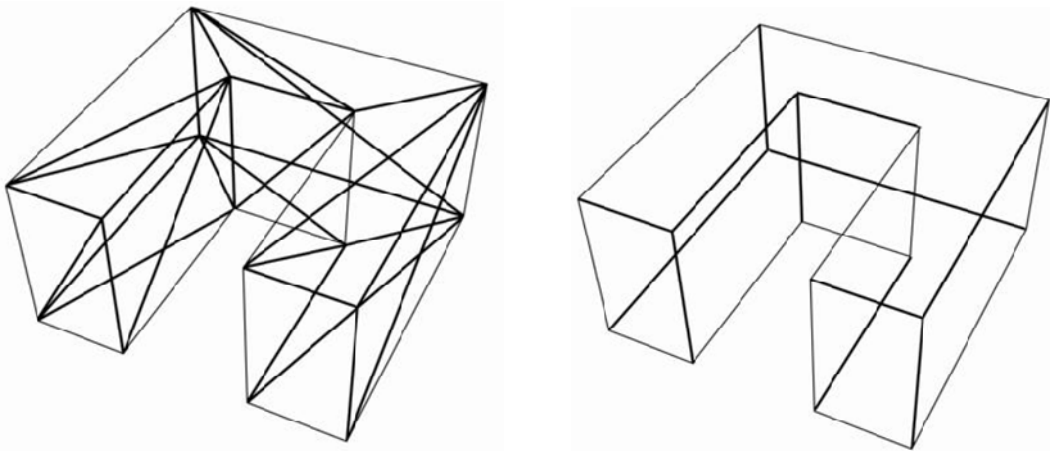


Fig. 8 - Malha Triangular (lado esquerdo) e Malha Poligonal (lado direito).

2.4.3. Simplificação de Malha e LOD

Nas últimas décadas, um esforço considerável de investigação tem sido realizado com o intuito de se encontrarem algoritmos de simplificação de malhas progressivamente mais sofisticados e eficientes. Segundo Garland [Garland99], a simplificação da malha poligonal, é uma forma de representar um determinado poliedro, com a menor resolução geométrica possível (número de polígonos). Esta representação é calculada de modo a preservar, razoavelmente, a aparência do objecto, sem contudo comprometer os recursos computacionais exigidos para a sua visualização/manipulação.

O processo de simplificação da malha está intimamente relacionado com o conceito de malhas de multi-resolução. Estas são malhas de polígonos que representam o mesmo objecto, mas com diferentes números de polígonos (dependendo do nível de detalhe reque-

rido). O termo *resolução* refere-se ao grau de complexidade ou ao nível de detalhe (denotado por *LOD*, de *Level of Detail*) existentes na representação do objecto [Silva05a]. Define-se *LOD* como uma substituição de uma malha complexa por um conjunto de aproximações em diferentes níveis de detalhe, procurando manter a aparência visual do objecto. O nível de detalhe poderá variar de acordo com factores como a distância ao observador, a visibilidade, a importância do objecto na cena, entre outros.

Segundo Luebke et al. [Luebke03], o termo *LOD* consiste em utilizar uma malha triangular menos detalhada para visualizar um objecto que está distante do observador na cena visualizada, ou quando o tamanho do objecto ocupa uma região pouco significativa da janela de visualização. À medida que o objecto é posicionado mais próximo do observador, ou a região da imagem ocupada por este se torna mais significativa, são utilizadas malhas cada vez mais detalhadas. Pode-se concluir que, quando a distância ao observador aumenta, o tamanho relativo do objecto na imagem diminui, pelo que é conveniente diminuir a resolução da respectiva malha, já que a perda de detalhe se torna mais imperceptível, podendo ser utilizadas versões progressivamente simplificadas, como se ilustra na Figura 9.

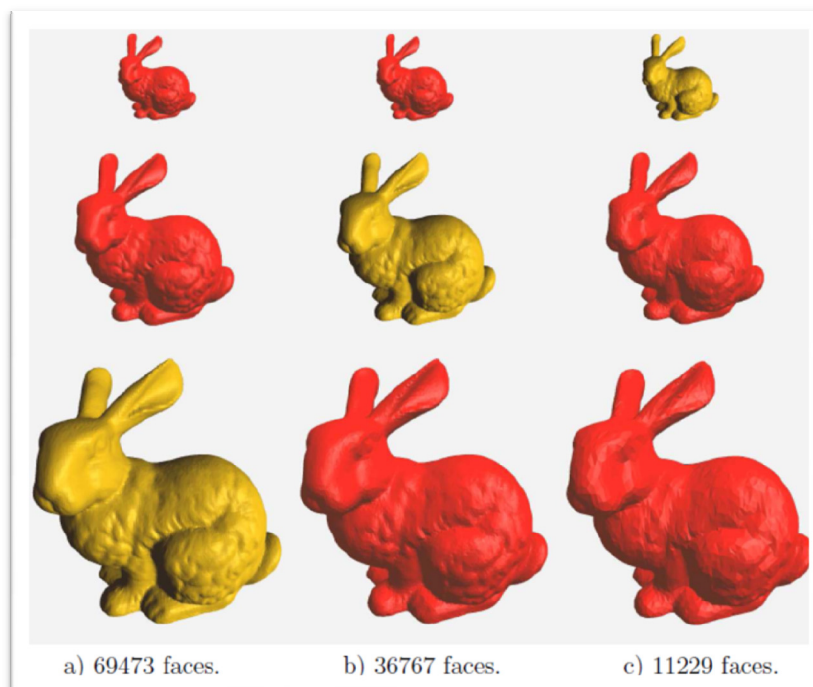


Fig. 9 - Malha de um coelho para diferentes tamanhos com três níveis de detalhe (LOD) [Silva05].

Em termos práticos, o nível de detalhe relaciona-se directamente com o número de faces, arestas e vértices que constituem o objecto. Assim sendo, quanto maior for o número de faces, mais perfeitas são as aproximações das superfícies curvilíneas existentes nos objectos e conseqüentemente maior será o consumo de memória e de esforço computacional [Green&Sun95]. Um LOD elevado torna o objecto visualmente mais realista e agradável ao olhar. Por outro lado, um objecto com um LOD reduzido consome menos memória e exige um menor esforço de processamento mas possui um aspecto visual mais pobre e menos realista (caso seja visualizado a curta distância).

Pela observação da Figura 9, pode concluir-se que, para uma distância reduzida, as diferenças visuais relativamente ao nível de detalhe dos modelos 3D são notórias. Assim sendo, os coelhos, dispostos da esquerda para a direita, são progressivamente menos detalhados. No entanto, quando a distância ao observador aumenta, as diferenças visuais entre os modelos começam progressivamente a esbater-se. Dessa forma, os coelhos que se encontram mais afastados, apesar de possuírem níveis de detalhe distintos, aparentam possuir um aspecto visual equivalente. Nesta situação, é mais adequado utilizar-se o coelho com um LOD mais reduzido, uma vez que possui, àquela distância, a mesma aparência visual dos coelhos com um LOD mais elevado.

2.4.4. Classificação dos Algoritmos de Simplificação de Malha

O principal objectivo de um algoritmo de simplificação é transformar um modelo 3D composto por uma malha poligonal numa versão mais simples. Ou seja, é reduzir o número de vértices, arestas e faces da malha, mas mantendo, o mais possível, a aparência visual do objecto original.

De um modo geral, todos os algoritmos de simplificação de malhas resultam de um compromisso entre a eficiência do algoritmo em termos de simplificação da malha, o esforço de processamento exigido e a qualidade visual da malha obtida. Contudo, o esforço de processamento ainda limita a sua utilização em aplicações que funcionem em tempo real

(excepto se forem utilizados em pré-processamento). O esforço de processamento depende sempre da densidade de polígonos da malha, ou seja, quanto mais complexa é a malha, maior é o tempo necessário à sua simplificação [Luebke01].

Existem diversas abordagens possíveis à simplificação de malhas [Cignoni98, Puppo97, Luebke01]. Algumas procuram simplificar a geometria, preservando o mais possível a aparência visual, enquanto outras tentam obter a máxima simplificação possível, sem se preocuparem em demasia com a aparência visual do objecto resultante. Também existem algoritmos que visam unicamente remover geometria redundante³ (Figura 10). Neste caso, é possível reduzir a complexidade mantendo a aparência visual do objecto. No entanto, estes algoritmos são geralmente classificados como algoritmos de optimização da malha, se bem que muitas vezes também sejam englobados na categoria dos algoritmos de simplificação.

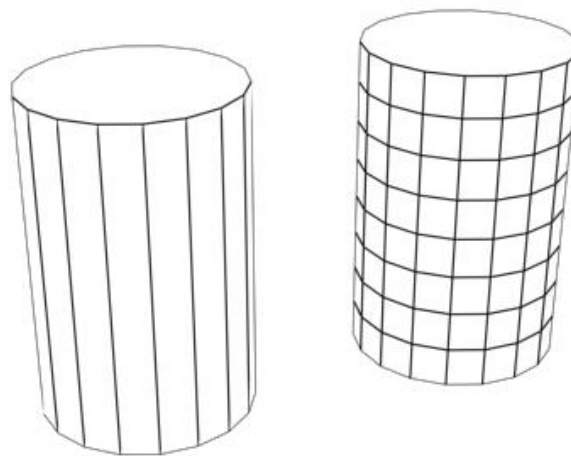


Fig. 10 - Cilindro sem informação geométrica redundante (à esquerda) e um cilindro equivalente com informação geométrica redundante (à direita).

³ Consiste em geometria que quando removida não altera o aspecto visual do objecto (por exemplo, um conjunto de faces coplanares agregadas).

Os diversos algoritmos de simplificação de malha poligonal existentes podem ser classificados [Luebke01]:

- quanto ao facto de preservarem ou não a topologia do objecto;
- quanto ao mecanismo(s) de remoção de polígonos utilizado(s);
- quanto à sua natureza, que poderá ser estática ou dinâmica.

2.4.4.1. Topologia

No presente contexto, a topologia consiste na estrutura de conexões existente entre os diversos polígonos que constituem a malha do objecto 3D a ser simplificado. Para distinguir entre a topologia e a geometria do objecto 3D, podemos levar em consideração o exemplo da transformação de uma esfera numa elipsóide (através de um escalamento no eixo do Z). Esta transformação não altera a topologia do objecto mas, em contrapartida, altera a sua geometria (Figura 11) [Luebke01].

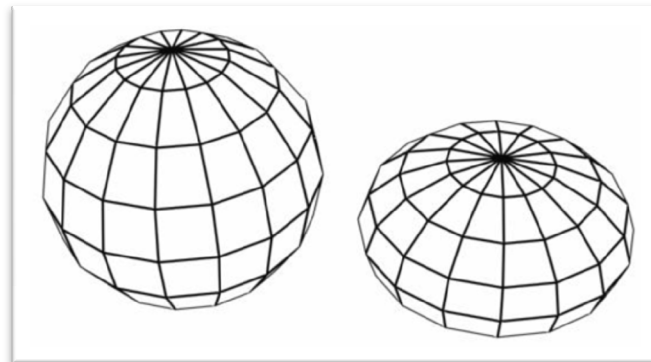


Fig. 11 - Alteração geométrica mas não topológica da esfera.

Os algoritmos de simplificação podem preservar ou não a topologia do objecto a ser simplificado. Os algoritmos que preservam a topologia produzem resultados muito bons no tocante à aparência do objecto simplificado que, nestes algoritmos, é mais semelhante à aparência original. Os algoritmos que não preservam a topologia têm mais liberdade para

alterar a geometria do objecto, o que implica uma maior aptidão para a simplificação. Infelizmente, a não preservação da topologia também contribui para que a aparência do objecto resultante seja menos semelhante à aparência do objecto original. Um elemento importante para a caracterização da topologia de um determinado objecto consiste no seu *Genus*. O *Genus*, como já foi referido anteriormente, é o número de buracos que atravessam o objecto de lado a lado. Nos algoritmos que modificam a topologia é relativamente comum que os buracos existentes no objecto original possam desaparecer no objecto simplificado (Figura 12), o *Genus* do objecto original não é preservado [Luebke01].

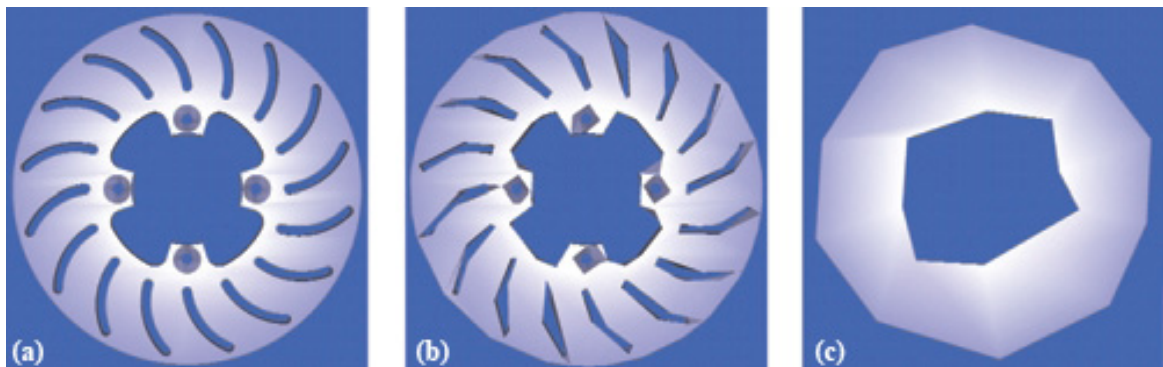


Fig. 12 - Simplificação de uma malha poligonal com preservação da topologia (exemplo a e b) e sem a preservação da mesma (exemplo a e c) [Luebke01].

2.4.4.2. Mecanismos de Remoção de Polígonos

Os algoritmos de simplificação também podem ser classificados relativamente ao mecanismo ou mecanismos de remoção de polígonos que utilizam. Estes mecanismos enquadram-se em quatro categorias fundamentais [Luebke01]:

(A) Algoritmos por Amostragem (*Sampling Algorithms*)

Os mecanismos desta categoria começam por obter amostras da geometria do objecto original. Essas amostras podem ser pontos na superfície do objecto ou *voxels* dispostos ao longo de uma matriz 3D sobre esse objecto. Geralmente, nesta categoria, é muito difícil preservar, com um grau aceitável de fidelidade, os elementos mais salientes existentes na superfície de objecto (como as arestas ou os cantos). Por esse motivo, este tipo de

mecanismos é mais adequado para objectos que consistam em formas de natureza orgânica (sem arestas bem definidas).

Um algoritmo que utiliza este tipo de mecanismos consiste no algoritmo de simplificação de objectos baseada em *Voxels* (*Voxel-based object simplification*) [He95]. Este algoritmo pode ser descrito como um processo de amostragem através de uma representação volumétrica do modelo, com o objectivo de obter uma melhor compreensão da estrutura contida nos dados volumétricos. Este conjunto de dados é definido numa matriz 3D. Cada um dos elementos, de volume uniforme, dessa matriz são denominados de *voxels*, a cada *voxel* atribui-se o valor 1, se este pertencer à malha do objecto e o valor 0 se não pertencer. No final do processo os dados são reconstruídos, gerando uma representação volumétrica do objecto com menor resolução.

(B) Algoritmos por Subdivisão Adaptativa (*Adaptative Subdivision Algorithms*)

Estes mecanismos partem de uma simples malha de base que, após subdivisões sucessivas, se aproxima progressivamente do modelo original. A sua utilização só é adequada quando a malha base é facilmente encontrada (por exemplo, um terreno para o qual a malha de base seria, neste caso concreto, de forma rectangular). Esta categoria possui ainda a vantagem de preservar a topologia do objecto. Importa salientar que, ao contrário do que é o procedimento habitual na simplificação de malhas, parte-se de uma malha simples que após cada iteração ganha um nível de detalhe progressivamente superior e cada vez mais aproximado da malha original (não-simplificada).

Um exemplo consiste no algoritmo de Análise de Multi-resolução de Malhas Arbitrárias (*Multiresolution Analysis of Arbitrary Meshes*) [Eck95]. O método de análise em multi-resolução (MRA) é baseado numa proposta de multi-resolução, por *wavelets*, isto é, sobre o uso de uma malha base simples mais uma sequência de termos de correcção local, chamados de coeficientes *wavelets*, os quais capturam em diferentes resoluções os detalhes presentes no objecto representado. Eck et al. descreveram como a MRA pode ser aplicada para

a aproximação de uma malha qualquer e constrói as aproximações MRA garantindo erro Máximo limitado.

(C) Técnicas de Dizimação (*Decimation Techniques*)

Os mecanismos desta categoria removem iterativamente vértices da malha. Por cada vértice removido é gerado um novo conjunto de faces triangulares que colmatarão o buraco resultante da remoção. A maioria destes mecanismos realiza alterações à malha de uma forma muito localizada, o que contribui para preservação da topologia do objecto original. Nos casos em que é absolutamente imperativo preservar a topologia, o vértice e os respectivos triângulos que o partilham só são removidos se essa remoção não afectar a topologia. Estes mecanismos são relativamente fáceis de implementar, podem ser muito rápidos e são particularmente adequados para a remoção de geometria redundante.

Um dos primeiros trabalhos de simplificação de malhas foi proposto por Schroeder em 1992 [Schroeder92] e designava-se por algoritmo de Dizimação da Malha Triangular (*Triangle Mesh Decimation*). Neste trabalho, a remoção dos vértices é feita através da eliminação de arestas e faces adjacentes a esse vértice, que é depois preenchido por um processo de re-triangulação. A topologia é preservada e a sua geometria é aproximada em relação ao modelo original. O algoritmo realiza múltiplos passos sobre todos os vértices da malha, usando informações de geometria e topologia locais para eleger a remoção de um vértice. O vértice e os triângulos adjacentes só são retirados se isso não afectar a topologia local ou se a superfície simplificada estiver abaixo de uma determinada distância da não simplificação.

(C) Esquemas de Fusão de Vértices (*Vertex-Merging Schemes*)

Estes algoritmos simplificam a malha através da fusão de dois ou mais vértices num só, repetindo esta operação até atingir o nível de simplificação desejado. Normalmente, no caso de simplificações elevadas, estes algoritmos produzem aproximações muito grosseiras do modelo, porque não preservam a topologia nem a geometria do mesmo.

As abordagens baseadas no Colapso de Arestas (*Edge Collapsing*) simplificam a malha através da fusão de vértices pertencentes à mesma aresta. Estas abordagens, ao contrário do caso anterior, tendem a manter a topologia local do modelo.

Outra técnica, proposta em 1993 por Rossignac e Borrel [Rossignac&Borrel93], é baseada na Aglomeração de Vértices (*Vertex Clustering*). Esta técnica começa por identificar o espaço envolvente (*Bounding Box*) do objecto original. Essa região é subdividida num conjunto de células (*voxels*), de tamanho uniforme e de forma cúbica, dispostos ao longo de uma matriz 3D. Para cada célula são identificados todos os vértices que se encontram localizados dentro da mesma. Em seguida, todos esses vértices são substituídos por um só vértice localizado no centro geométrico da célula a que pertencem (figura 13).

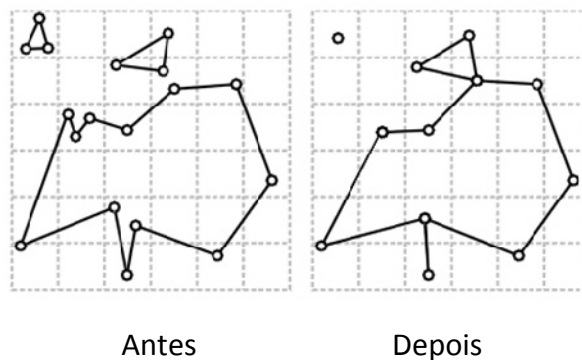


Fig. 13 – Representação antes e depois da técnica de aglomeração de vértices.

Após a simplificação, a malha resultante pode ser topologicamente diferente da malha original. Adicionalmente, todos os elementos que sejam inferiores, em tamanho, à célula a que pertencem, tendem a ser eliminados durante o processo. Esse facto pode ser interessante pois garante um controlo explícito do erro cometido durante a simplificação, que é limitado pelo tamanho da célula utilizada. Por outro lado, as matrizes 3D com uma resolução muito baixa (células de tamanhos elevados), que podem ser utilizadas para simplificações mais extremas, tendem a produzir erros elevados, degradando o resultado final.

Outro factor importante relativamente ao uso de uma matriz 3D é que o resultado final da simplificação também é sensível ao posicionamento da matriz relativamente à

malha a ser simplificada. O uso desta técnica é mais adequada para malhas extremamente densas e quando o grau de simplificação exigido não é muito alto.

2.4.4.3. Tipo de Simplificação

Os algoritmos de simplificação podem ser de natureza estática ou dinâmica. A simplificação estática consiste em criar, na fase de pré-processamento, várias versões, do modelo 3D com um nível de detalhe progressivo. Cada uma delas encontra-se associada a um intervalo de distâncias à câmara dentro do qual essa versão deve ser utilizada. Durante a visualização, o algoritmo calcula a distância da câmara ao modelo 3D e avalia qual dos diferentes níveis de detalhe deve ser utilizado. À medida que a distância aumenta, o modelo actual é substituído por um outro menos detalhado e assim sucessivamente. Este tipo de simplificação pode ser muito vantajoso porque reduz consideravelmente o esforço de processamento necessário para visualizar o modelo 3D num ambiente virtual dinâmico e interactivo.

Na simplificação dinâmica, os níveis de detalhe são gerados em tempo real, ou seja, é aplicado um processo de simplificação da malha ao modelo 3D, em tempo real, segundo um determinado critério. Este critério, tal como no caso anterior, poderá ser a distância do modelo 3D à câmara. No entanto, não existe um conjunto de versões progressivamente simplificadas e criadas em pré-processamento. Uma simplificação desta natureza possui a vantagem de possibilitar uma variação contínua no nível de detalhe que é visualmente mais agradável e realista do que a variação de detalhe do caso anterior (na qual existem transições abruptas de um LOD para o seguinte).

2.5. Parametização com Restrições

Segundo Speck [Speck01], o processo de modelação baseada em restrições permite criar modelos 3D de produtos com dimensões variadas. Neste método, as ligações bidireccionais, entre o modelo e o esquema de dimensionamento, permitem a regeneração auto-

mática de modelos depois da alteração das dimensões e consequente actualização automática das dimensões relacionadas.

O desenvolvimento de um novo produto é, muitas vezes, realizado a partir de produtos já existentes. Se, após um modelo ter sido criado (modelo manipulado em sistemas de CAD) o utilizador verifica a necessidade de efectuar uma alteração, todos os elementos associados a essa alteração devem ser actualizados automaticamente, reduzindo horas de trabalho e eliminando ambiguidades. Desta forma, o utilizador tem uma liberdade considerável para testar diferentes configurações utilizando um único modelo, com o intuito de se ajustarem às suas necessidades específicas. Este processo permite dar assim um salto qualitativo em termos de rigor e de tempo de criação e alteração automática dos projectos, permitindo uma maior produtividade e eficiência.

Especialmente, em projectos cujos modelos 3D possuem um elevado detalhe, a alteração de um parâmetro de um componente, deve produzir o ajuste automático de todo o conjunto. Este processo é designado por parametrização geométrica. Actualmente, muitos sistemas CAD possibilitam a parametrização dos modelos durante a sua criação, facilitando futuras alterações. A parametrização permite que ao alterar uma cota, por exemplo, a geometria de um sólido ou conjunto seja actualizada automaticamente.

Os sistemas que utilizam a parametrização geométrica devem possuir, na representação do modelo, informação sobre os parâmetros dimensionais de cada componente, assim como as relações geométricas e topológicas entre eles, de modo a garantir a geração de configurações alternativas resultantes das alterações dos seus parâmetros.

Uma forma de implementar as relações geométricas é a utilização de restrições. Uma restrição descreve uma relação que deve ser mantida [FrMa90]. Por exemplo, a restrição de um objecto que deve ser paralelo a outro ou de uma linha que deve ser vertical. Ao impor restrições entre componentes de um modelo, é possível gerar automaticamente variantes desse modelo, que verifiquem essas restrições, por alterações de parâmetros. As restrições ajudam a controlar a geometria do modelo e são utilizadas principalmente para delimitar os valores máximo ou mínimos dos respectivos parâmetros. Assim, as dimensões e as restri-

ções paramétricas controlam a geometria do modelo e, na medida em que são feitas alterações ao projecto, os modelos são actualizados automaticamente.

As restrições são normalmente representadas por conjuntos de equações. Os sistemas de modelação fazem uso de três tipos de restrições: numéricas; geométricas e algébricas. As restrições numéricas são aplicadas, por exemplo, às posições (x,y,z) , aos comprimentos e aos diâmetros. As restrições geométricas incluem a relação de paralelismo, a de perpendicularidade e a de tangência entre outras. As restrições algébricas combinam as duas anteriores [Losa94].

2.6. Sumário do Capítulo

O principal objectivo deste capítulo consistiu em apresentar uma visão geral sobre os conceitos mais importantes para a obtenção dos objectivos propostos, nomeadamente: os sólidos, a representação de sólidos através da fronteira (*B-Rep*), a malha poligonal e a simplificação geométrica de modelos 3D. Também foi apresentado um resumo do estado da arte da simplificação geométrica de modelos 3D que descreveu alguns dos algoritmos de simplificação de malha poligonal mais utilizados. Adicionalmente, foi realizado um estudo sobre a parametrização, com restrições topológicas, de modelos 3D.

No próximo capítulo será estudado o problema da simplificação de modelos 3D e da sua parametrização em tempo real num ambiente profissional associado a uma empresa do ramo industrial no domínio do mobiliário de escritório usada como um caso de estudo.

Capítulo III

3. Análise do Problema

Os modelos 3D de produção, criados com o propósito de servirem de referência a um eventual processo de fabrico, possuem geralmente um nível de detalhe muito elevado, visto que devem recriar todos os detalhes de natureza técnica existentes no produto acabado/componente e que são importantes para o respectivo processo de fabrico.

Infelizmente, no panorama tecnológico actual, o elevado nível de detalhe destes modelos limita a sua utilização noutro tipo de contextos, nomeadamente naqueles que exigem uma visualização/manipulação em tempo real, como, por exemplo, na Realidade Virtual. Numa organização que possua uma vasta colecção de modelos 3D altamente detalhados e que pretenda utilizar os mesmos num contexto que exija uma visualização em tempo real, faz todo o sentido tentar reutilizar os modelos já existentes em vez de criar manualmente novos modelos 3D equivalentes aos anteriores, mas mais simplificados. A criação de novos modelos, mesmo que simplificados, é uma tarefa demorada e propensa a inconsistências entre os modelos detalhados e os simplificados [Corseuil03].

No entanto, a utilização de modelos 3D altamente detalhados num contexto de Realidade Virtual só é verdadeiramente eficiente se estes forem devidamente simplificados. Num ambiente de Realidade Virtual, muitos dos detalhes existentes nos modelos 3D de produção são agora totalmente desnecessários ou dispensáveis (nomeadamente, os que são

visualmente nada ou pouco significativos). Por outro lado, a remoção destes detalhes simplifica consideravelmente a geometria do modelo 3D, o que, por sua vez, permite reduzir o esforço de processamento necessário à sua visualização/manipulação 3D [Alvito08].

Na área do *marketing* directo a potenciais clientes, a visualização/manipulação de modelos 3D de apresentação dos produtos comercializados integrados em ambientes de Realidade Virtual é um tópico muito actual e que suscita um grande interesse de ambas as partes (tanto do fabricante como dos seus clientes).

Actualmente, é particularmente comum e desejável que uma empresa possa disponibilizar produtos passíveis de serem parametrizados pelos clientes. Esta parametrização pode consistir em alterar determinadas dimensões, cores, materiais e alguns pormenores de acabamento do produto comercializado. A possibilidade de contemplar, em tempo real, o resultado do processo de parametrização, permite ao cliente avaliar até que ponto esse resultado corresponde às suas expectativas, constituindo assim uma importante ferramenta no *marketing* directo e no próprio processo de venda.

O processo de parametrização acima descrito, para além de exigir uma visualização em tempo real, também implica transformações geométricas nos modelos 3D dos produtos comercializados que podem ser, em certos casos, particularmente complexas. Portanto, é imperativo que, nesta situação, os modelos 3D originais (modelos de produção) sejam simplificados antes de poderem ser parametrizados. Adicionalmente, o processo de parametrização deve ser aplicado a um modelo 3D já existente e que foi criado manualmente, em contraste com o processo mais habitual de estabelecer os parâmetros desejados e só depois gerar automaticamente o modelo 3D segundo os parâmetros pré-estabelecidos.

A criação automática de um modelo 3D cujos parâmetros são conhecidos de antemão é um processo que apresenta uma importante vantagem no tocante à sua parametrização. Esta vantagem consiste no facto das relações de posicionamento, dimensão e orientação existentes entre os diversos componentes que constituem o modelo 3D (restrições) serem obrigatoriamente conhecidas (por exemplo, saber que a dimensão do tampo de uma secretária não influencia a dimensão das respectivas pernas, mas influencia a posição destas

últimas relativamente ao centro do tampo). Estas restrições definem a estrutura morfológica do modelo 3D, que é crucial para o processo de parametrização. Sem esta informação, a parametrização poderia produzir modelos 3D que seriam considerados inválidos, no contexto do processo de fabrico (por exemplo, o aumento da largura de uma secretária em 20 cm poderia produzir o efeito indesejado de também aumentar a largura das respectivas pernas).

A parametrização de um modelo 3D já existente, do qual não se conhece a respectiva estrutura morfológica, exige que, numa fase preliminar, sejam estabelecidas algumas relações de posicionamento, dimensão e orientação entre os diversos componentes do modelo 3D. Estas relações podem, em muitos casos, ser inferidas automaticamente mas, geralmente, é necessária a intervenção inicial do utilizador na definição dos parâmetros (a designação, o tipo, os limites, etc.).

Resumindo, o primeiro problema encontrado consiste em simplificar geometricamente o modelo 3D de produção de forma a reduzir a sua complexidade e nível de detalhe, mas preservando o mais possível a sua aparência visual original. Esta simplificação transformará efectivamente o modelo de produção em um modelo de apresentação que poderá ser eficientemente visualizado/manipulado num ambiente de Realidade Virtual, satisfazendo dessa forma o primeiro objectivo desta tese: simplificação automática dos modelos de produção (ver secção 1.3).

O segundo problema consiste em possibilitar a parametrização dos modelos 3D de apresentação de tal forma que a sua estrutura morfológica seja sempre respeitada e não seja possível introduzir modificações no modelo parametrizado que conduzam a um objecto real inválido (que não possa ser fabricado). Adicionalmente, o processo de parametrização deverá funcionar em tempo real. A resolução deste problema possibilitará a obtenção do segundo objectivo desta tese: visualização e parametrização interactivas do modelo 3D de apresentação (ver secção 1.3).

O terceiro problema consiste em sincronizar, após a parametrização, o modelo de apresentação com o modelo de produção análogo, garantido dessa forma que as alterações

ao modelo de apresentação resultantes do processo de parametrização sejam também aplicadas ao modelo de produção. Com isto, será possível atingir o último objectivo desta tese: conversão automática ou semi-automática do modelo de apresentação para o modelo de produção (ver secção 1.3).

3.1. Simplificação do Modelo 3D

Os modelos 3D de produção possuem duas características que contribuem consideravelmente para o seu elevado grau de complexidade: um número muito elevado de componentes e uma complexidade geométrica considerável em muitos desses componentes.

Geralmente, num contexto industrial, os modelos 3D de produção possuem um número elevado de componentes que facilmente podem atingir as centenas ou até mesmo os milhares de unidades. A título de exemplo, um dos modelos 3D de secretária, utilizado durante a avaliação, possui um total de 117 componentes. Numa perspectiva de fabrico, todos estes componentes são importantes, visto que representam objectos reais que constituem o produto acabado.

No entanto, numa perspectiva de visualização e de parametrização interactiva, muitos destes componentes são dispensáveis. Devendo ser considerados somente os componentes visualmente significativos. Efectivamente, nestes modelos 3D, uma parte dos componentes são de pequenas dimensões (por exemplo parafusos, rebites, porcas, etc.). Adicionalmente, muitos desses mesmos componentes encontram-se situados em zonas dificilmente visíveis do objecto real (por exemplo no interior de uma gaveta, na zona inferior de um tampo de mesa, etc.).

Dependendo da natureza do objecto real, uma parte dos componentes que constituem o modelo 3D pode ser geometricamente muito complexa. No exemplo dado, existem componentes que podem ter mais de 5000 faces, enquanto outros possuem menos de 20 faces. Em muitos contextos, existe a tendência de assumir que quanto mais visualmente significativo for um componente, mais geometricamente complexo poderá ser. No entanto,

no caso dos modelos 3D de produção, não se deve aplicar esta regra, visto que a importância visual de um componente não determina o nível de complexidade geométrica necessário para o representar. No mesmo exemplo, um parafuso é geometricamente mais complexo (1700 faces) do que o tampo da mesa (340 faces) (Figura 14). Numa perspectiva de fabrico, a complexidade geométrica de alguns componentes é perfeitamente justificável pelo facto de servirem de referência à produção do componente real, principalmente em sistemas CAD/CAM.

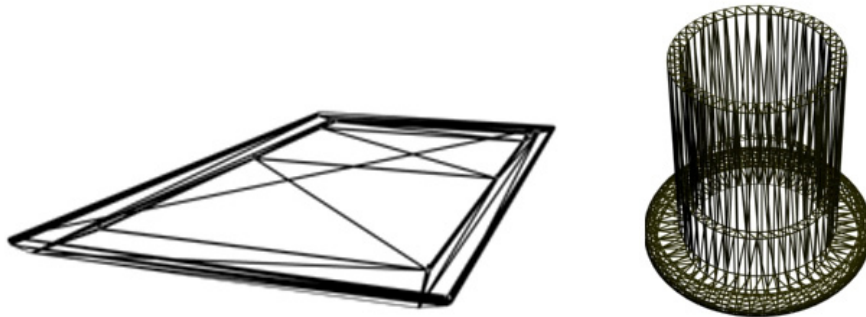


Fig. 14 - Complexidade geométrica de um tampo de secretária *versus* um parafuso.

Numa perspectiva de visualização, o elevado nível de complexidade geométrica dos modelos 3D é dispensável. Nesta situação, a geometria dos modelos pode ser substancialmente simplificada, sem que a sua aparência visual sofra alterações que sejam facilmente perceptíveis.

Para que o processo global de simplificação do modelo 3D possa ser verdadeiramente eficiente, deverá englobar as duas vertentes de simplificação descritas: a eliminação dos componentes visualmente pouco significativos e a simplificação geométrica dos componentes não eliminados.

3.1.1. Eliminação dos Componentes Visualmente Pouco Significativos

Para que a eliminação de componentes possa ser realizada é necessário, antes de mais, definir o que se entende por um componente visualmente pouco significativo.

Um componente visualmente pouco significativo é aquele que, se removido do modelo 3D a que pertence, não afecta a aparência visual deste último. Para determinar se um componente é, ou não, visualmente significativo, pode optar-se por duas possíveis abordagens:

3.1.1.1. Volume Relativo do Componente

Uma das abordagens para o problema consiste em calcular a razão entre o volume do componente e o volume do modelo 3D a que pertence. Esta razão permite identificar os componentes cujo volume é demasiado pequeno relativamente ao volume do modelo 3D. Geralmente, os componentes identificados através desta abordagem são visualmente pouco significativos. No entanto, existem componentes que possuem um volume percentualmente insignificante, mas que não são necessariamente visualmente pouco significativos. Um bom exemplo, desses componentes, consiste numa ilharga que, pelo facto de ser fina, possui um volume reduzido, mas que devido à sua área exposta, nunca poderá ser considerada como visualmente pouco significativa (Figura 15).

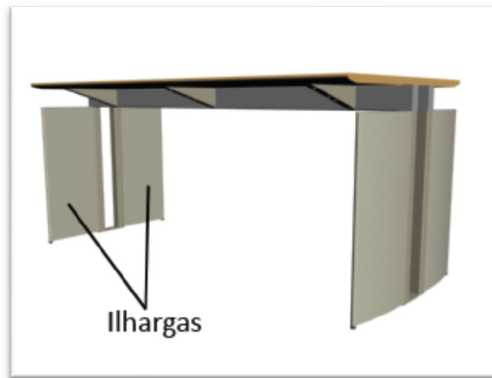


Fig. 15 - Representação da base da secretária *Mater* através de Ilhargas.

3.1.1.2. Área Relativa do Componente

Uma outra abordagem para identificar componentes visualmente pouco significativos consiste em recorrer à área da sua superfície em detrimento do seu volume. Uma vez que os componentes são objectos tridimensionais, importa identificar em que consiste esta área. Uma possível opção é a área total da superfície do componente. Uma outra opção, mais fácil de calcular, consiste na área da projecção do componente na vista visualmente mais significativa (cuja área da projecção é mais elevada). Por exemplo, no caso do tampo de uma mesa, a sua vista mais significativa deverá ser vista de topo/de baixo.

Para decidir se o componente é visualmente significativo, é necessário calcular a relação entre a área representativa desse componente, na sua vista mais significativa, e área representativa do modelo 3D a que pertence, na mesma vista.

3.1.2. Simplificação Geométrica dos Componentes Não Eliminados.

Após a eliminação dos componentes visualmente menos significativos, o modelo 3D poderá ser ainda simplificado através da simplificação da geometria dos componentes que não foram eliminados.

A simplificação geométrica da superfície de um modelo 3D deverá reduzir o número total de faces sem afectar substancialmente a aparência visual do modelo em causa. Uma primeira etapa da simplificação geométrica da superfície consiste na remoção de toda a geometria redundante, que é aquela que não adiciona qualquer detalhe à superfície do modelo 3D (por exemplo, duas ou mais faces coplanares vizinhas). Esta remoção nunca afecta a aparência visual do objecto. No entanto, esta primeira etapa de simplificação só fará sentido se o desenhador que criou o modelo 3D não teve o cuidado de garantir que este último possui uma geometria otimizada (sem geometria redundante). Esta situação poderá variar consoante o desenhador e a fábrica.

A segunda etapa de simplificação da superfície do modelo 3D visa remover geometria que adiciona algum nível de detalhe à sua aparência visual. Esta etapa afecta sempre a aparência visual do modelo simplificado. No entanto, é desejável que as alterações à aparência resultantes desta simplificação sejam sempre imperceptíveis ou insignificantes. Mas, mesmo com esta limitação, é possível obter uma simplificação considerável da geometria.

Importa salientar que a segunda etapa do processo de simplificação da superfície exigirá uma intervenção cuidadosa do utilizador na escolha do nível de detalhe desejado. O modelo após o processo de simplificação deverá manter uma aparência visual semelhante ao modelo original e cabe ao utilizador decidir se essa aparência é suficientemente semelhante. A escolha do nível de detalhe por parte do utilizador é um processo de natureza iterativa, no qual este último deverá escolher um nível de detalhe que consiga, por um lado, preservar a aparência visual e, por outro, simplificar substancialmente a complexidade geométrica do modelo 3D.

3.2. Parametrização do Modelo 3D

Uma das principais dificuldades em parametrizar modelos 3D já existentes e que, neste caso, foram criados manualmente, consiste no facto de não se conhecer sua a estrutura morfológica. Esta estrutura permite conhecer quais as relações de posição, dimensão e

orientação que se estabelecem entre os diversos componentes que compõem o modelo 3D (restrições). Para que o processo de parametrização seja possível, será necessário criar estas restrições.

Num contexto industrial, um dos parâmetros mais usualmente alterados pelos clientes consiste nas dimensões dos produtos. O processo de alteração das dimensões de um modelo 3D referente a um determinado produto não é tão simples, nem trivial, quanto aparenta. Por exemplo, se um modificador de escalamento for directamente aplicado a um modelo 3D de uma secretária com o intuito de aumentar a sua largura, então a largura de todos os componentes dessa secretária aumentaria de igual forma (Figura 16). Esta situação não é, de todo, realista, uma vez que, apesar deste aumento, muitos componentes mantêm o seu tamanho original (por exemplo, um parafuso). Por outro lado, o aumento da largura da mesa implica que determinados componentes se desloquem relativamente à origem do escalamento e, neste caso, as posições relativas entre os componentes deverão ser preservadas.

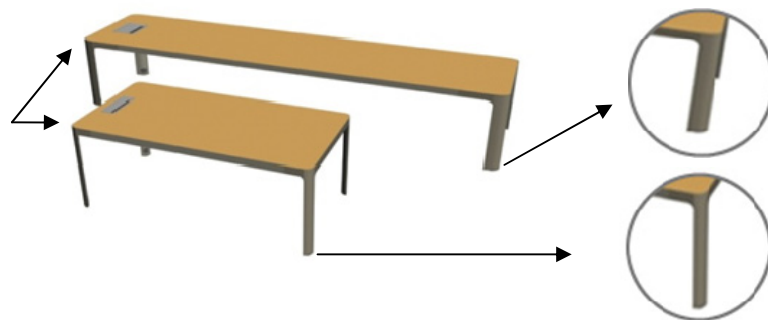


Fig. 16 - Efeito de distorção provocado pelo factor de escalamento de uma secretária.

Portanto, para um determinado modelo 3D e para um determinado parâmetro dimensional, importa classificar todos os componentes quanto ao respectivo comportamento relativamente a uma alteração do parâmetro dimensional. Por exemplo, se aumentar a largura de uma secretária, existem componentes, como o tampo, que também aumentam a sua largura; existem outros, como as pernas, que se deslocam na direcção da largura em sentidos opostos; e finalmente, existem alguns que não sofrem qualquer tipo de transformação.

3.2.1. Planos de Corte

Um método que permite determinar o comportamento de um determinado componente, relativamente à alteração de um parâmetro, consiste na utilização de um ou mais planos de corte.

Um plano de corte consiste num plano cuja normal possui a mesma direcção do parâmetro dimensional a ele associado. Por exemplo, no caso do parâmetro altura, o plano de corte seria um plano horizontal, uma vez que o seu vector normal possui uma direcção vertical. A posição do plano de corte relativamente ao modelo 3D é extremamente importante, uma vez que define a origem do escalamento. Geralmente, a sua posição coincide com o centro geométrico do modelo 3D, mas poderá ser qualquer posição dentro do volume envolvente do modelo em questão.

Os componentes do modelo 3D poderão, ou não, ser intersectados pelo plano de corte e esta intersecção ditará o comportamento do componente relativamente à alteração do parâmetro: se o componente é intersectado, então irá alterar a sua dimensão. Em contrapartida, se o componente não for intersectado, então somente a sua posição será alterada. Nesta situação, o objecto desloca-se na direcção da normal do plano de corte, afastando-se ou aproximando-se deste último.

Considerando, como exemplo, que se pretende aumentar a altura de uma mesa, deve definir-se em primeiro lugar, um plano de corte horizontal posicionado algures a meia

altura da mesa. Relativamente a este plano, existem componentes, como as pernas (ilhar-gas), que são intersectados, o que implica que aumentarão a sua altura. Outros componen-tes, como o tampo e os niveladores, que não são intersectados, serão deslocados verti-calmente (Figura 17). Ao aumentar o valor do parâmetro altura, estes últimos componentes afastam-se do plano, deslocando-se verticalmente.



Fig. 17 - Representação de um plano de corte horizontal posicionado no centro geométrico da secretária *Mater*.

Habitualmente, parte-se do princípio que os componentes não intersectados pelo plano de corte, de ambos os lados desse plano, são transformados simetricamente. Porém, existem situações nas quais faz sentido que essas transformações só ocorram de um dos lados do plano de corte. Um exemplo dessa situação ocorre quando se pretende alterar a largura de uma secretária que contenha, numa das extremidades, um bloco de gavetas. Se este bloco possuir dimensões fixas, então o plano de corte só poderá afectar os componen-tes existentes do lado do plano oposto ao lado no qual exista o bloco (Figura 18).

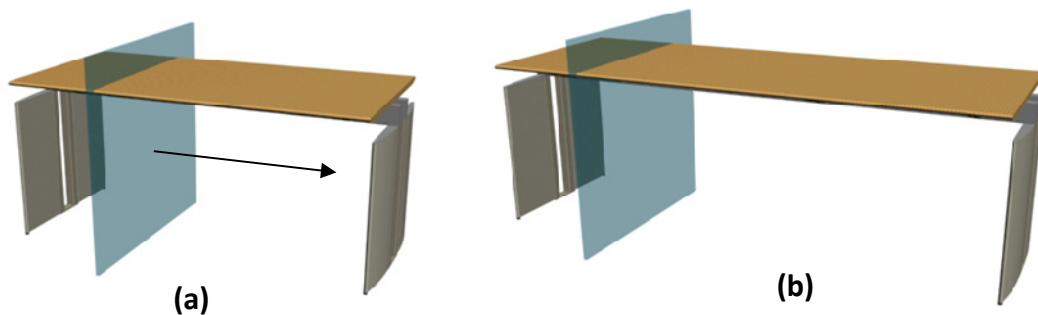


Fig. 18 - Identificação do lado do plano de corte onde ocorre a transformação (exemplo a). Resultado da transformação (exemplo b).

Outro tipo de exceções ocorre quando um componente, intersectado pelo plano de corte, mantém as suas dimensões ao contrário do que seria esperado. Um exemplo, desta situação, consiste num parafuso que seja intersectado pelo plano de corte. Isto sucede porque existem determinados componentes cuja dimensão nunca poderá ser alterada, mesmo que sejam intersectados.

Geralmente, um parâmetro dimensional possui um único plano de corte associado. No entanto, existem situações em que faz sentido associar dois ou mais planos de corte ao parâmetro dimensional. Dois planos de corte dividem o objecto em três regiões. Neste contexto, temos duas regiões (nas extremidades) nas quais os componentes podem ser alterados (em dimensão e posição) e uma região central constante, na qual não sofrem qualquer tipo de alteração (Figura 19).



Fig. 19 - Representação de uma região central que não sofre alteração.

3.3. Sincronização do Modelo de Produção com o Modelo de Apresentação

O processo de parametrização do modelo de apresentação introduz alterações que o tornam diferente do modelo de produção. Uma vez que ambos os modelos representam o mesmo objecto real, é de extrema importância que as alterações introduzidas no primeiro modelo possam também ser introduzidas no segundo modelo.

Visto que o modelo de apresentação resultou de uma transformação do modelo de produção, idealmente, deveria também existir um processo que realizasse uma transforma-

ção inversa, ou seja, que transformasse o modelo de apresentação alterado num modelo de produção igualmente alterado. Infelizmente, essa transformação inversa é um processo de natureza muito complexa.

Um dos principais problemas consiste nas diferentes representações utilizadas por cada modelo. No caso de estudo, o modelo de produção utiliza uma representação Construtiva (*CSG - Constructive Solid Geometry*) [Requicha80], enquanto o modelo de apresentação utiliza uma representação pela Fronteira (*B-Rep*) [Mäntylä88]. O primeiro tipo de representação possui um elevado nível de informação estrutural relativamente aos diferentes componentes que compõem o modelo e às suas relações em termos de posicionamento, dimensões, orientações e até mesmo nas operações que foram utilizadas para criar um determinado componente. Na conversão para a representação pela fronteira, toda essa informação é perdida, visto que esta última representação só armazena informação relativamente à superfície do modelo 3D. Portanto, uma transformação inversa nunca resultaria no modelo 3D de produção original.

Uma possível solução para resolver este problema consistiria em enviar somente as alterações sofridas, pelo modelo de apresentação, para uma aplicação baseada no sistema CAD que as implementasse no modelo de produção equivalente. Nesta solução, os dois modelos existirão paralelamente e sempre que o modelo de apresentação fosse alterado, seriam enviadas um conjunto de instruções, que descreveriam as alterações, através de uma interface existente entre o sistema de modelação 3D e o sistema de CAD. Esta solução poderia garantir o sincronismo entre ambos os modelos.

3.4. Especificação da Solução

Como já foi referido anteriormente (capítulo I), existe uma multi-variedade de sistemas de modelação 3D, desde sistemas genéricos, preparados para modelar qualquer objecto, até sistemas altamente especializados, orientados para a modelação de objectos 3D pertencentes a um determinado domínio específico, exigido pelas aplicações de desenho assis-

tido por computador – CAD/CAM. Os modelos criados em sistemas de CAD/CAM partilham a particularidade de possuírem um elevado rigor técnico, permitem a utilização e criação de peças com grande precisão. Actualmente, o processo de fabrico de mobiliário de escritório exige que a concepção da sua gama seja baseada em sistemas CAD. Este tipo de aplicações oferece vulgarmente um conjunto completo de ferramentas que, por sua vez permitem modelar os produtos acabados e respectivos componentes, em 3D e com um detalhe geométrico considerável. Deste modo, são modelos que possuem todos detalhes importantes para o fabrico dos objectos reais que representam.

Alguns desses sistemas são bastantes semelhantes podendo por vezes, divergir em alguns aspectos dependendo da sua finalidade. Servem a título de exemplo sistemas de modelação como: *Autodesk Inventor* [[httpInventor](#)], *Autodesk AutoCad* [[httpAutoCad](#)], *SolidWorks* [[httpSolidWorks](#)], entre outros.

O *Autodesk Inventor* é um sistema de modelação paramétrica de sólidos, desenvolvido pela Autodesk, que permite criar eficientemente modelos 3D de produção de componentes e produtos de natureza mecânica e industrial. O sistema é vocacionado para a modelação 3D de precisão, sendo utilizada como unidade de trabalho o milímetro. O modelo criado consiste num protótipo digital 3D rigoroso, que pode ser visualizado em várias perspectivas, sendo também possível verificar se os respectivos componentes encontram-se correctamente posicionados. As principais funcionalidades deste sistema descrevem-se a seguir [[httpmicrograf](#)]:

- Projecto Mecânico 3D: inclui um ambiente de projecto paramétrico intuitivo para desenvolver esboços conceptuais iniciais e espaços de modelação cinemática de peças e montagens;
- Gestão de Dados e Comunicação em Projecto: promove antecipadamente a colaboração com as equipas de fabrico e os clientes recorrendo às ferramentas de visualização 2D e 3D que melhoram a documentação e comunicação do projecto;
- Ferramentas de Produtividade CAD 3D: inclui ferramentas de produtividade e recursos CAD para ajudar a tirar o máximo partido do seu ambiente de Prototipagem Digi-

tal. O *Inventor* permite a integração com o AutoCAD e a interoperabilidade através do formato DWG;

- Simulação do Produto: permite otimizar e validar o desempenho do produto antes de ser fabricado;
- Projecto de Moldes e Ferramentas: permite automatizar os principais aspectos do projecto de moldes de injeção para peças de plástico;
- Funcionalidades: o sistema inclui todas as funcionalidades extra de projecto de traçados de tubagens e cablagens, criação de ferramentas e simulação além das funcionalidades de base do *Autodesk Inventor*, etc.

Como outros exemplos de sistemas CAD podem citar-se um dos sistemas de CAD mais antigo e utilizados em todo o mundo, desenvolvido pela Autodesk, Inc. em 1982 – o *AutoCAD* [[httpAutoCad](http://AutoCad)]. Utilizado, inicialmente, para o desenho técnico em duas dimensões, rapidamente evoluiu para a criação de modelos 3D. A linguagem nativa do *AutoCAD* é o *AutoLISP*, que possibilita a automatização de tarefas complexas. Tal como sucede com o sistema *AutoCAD*, o *SolidWorks* [[httpSolidworks](http://Solidworks)] é um sistema CAD, desenvolvido pela *SolidWorks Corporation*, adquirida em 1997 pela Dassault Systemes S.A. (famosa mundialmente pelos seus aviões de caça *Mirage*), que permite acompanhar todo o processo produtivo desde a elaboração do desenho até à sua produção final.

Actualmente, é relativamente comum a utilização de sistemas de visualização em tempo real dos modelos 3D criados em sistemas CAD com a finalidade de serem apresentados aos clientes. Através de um processo de simplificação, os mesmos modelos podem ser reutilizados como forma de apresentação. Servem a título de exemplo sistemas de modelação como *3DS MAX/Autodesk VIZ* [[httpViz](http://Viz)], *Maya* [[httpMaya](http://Maya)], etc.

O *3DS MAX/Autodesk VIZ* são sistemas para a modelação e animação 3D orientados essencialmente para a produção de gráficos de alta qualidade visual, desenvolvidos pela Autodesk. Estes sistemas também possibilitam a automatização de tarefas complexas, devido à sua linguagem de programação MAXScript [[httpMIT](http://MIT)]. Adicionalmente, o 3DS suporta os

conhecidos formatos IAM, DWG e DXF (formatos muito utilizados para o intercâmbio de modelos 3D entre distintas plataformas de CAD).

O *3DS MAX* e o *Autodesk VIZ* são muito semelhantes, partilhando essencialmente a mesma interface e a maioria das funcionalidades. No entanto, o *Autodesk VIZ* é mais utilizado na arquitectura, pois permite a criação, a gestão e a partilha de informação entre projectos de edifícios com maior rapidez e produtividade, no entanto, comparativamente ao *3DS MAX*, o *Autodesk VIZ* disponibiliza uma biblioteca de materiais mais extensa e orientada para o domínio da arquitectura.

Como outros exemplos de sistemas de visualização podem citar-se o sistema *Maya* um sistema de modelação e animação 3D, desenvolvido actualmente pela *Autodesk*, utilizado num vastíssimo leque de produções audiovisuais e cinematográficas (constituem exemplos alguns títulos como: o *Shrek*, *Kung Fu Panda* e o *Monsters vs. Aliens*), nomeadamente ao nível dos efeitos especiais, animação, jogos, produção de vídeo entre outros. Possui uma linguagem nativa denominada de *Maya Embedded Language* (MEL), a qual é muito similar a PHP e assemelha-se conceptualmente à linguagem de programação C. Suporta os formatos como DWG e DXF [[httpMaya](http://Maya)].

Adicionalmente, é vulgar a utilização de ferramentas de planificação 3D, em tempo real, em ambiente de Realidade Virtual, dos modelos 3D criados em sistemas CAD ou modelos optimizados para a visualização, com a finalidade de serem apresentados aos clientes. Estas ferramentas são úteis para aqueles que pretendem uma rápida criação de projectos 3D interiores sem a complexidade dos sistemas de CAD e/ou modelação 3D. Servem a título de exemplo as ferramentas de planificação *Navigram* [[httpNavigram](http://Navigram)] e *IKEA Home Planner* [[httpIkea](http://Ikea)] (figura 20).

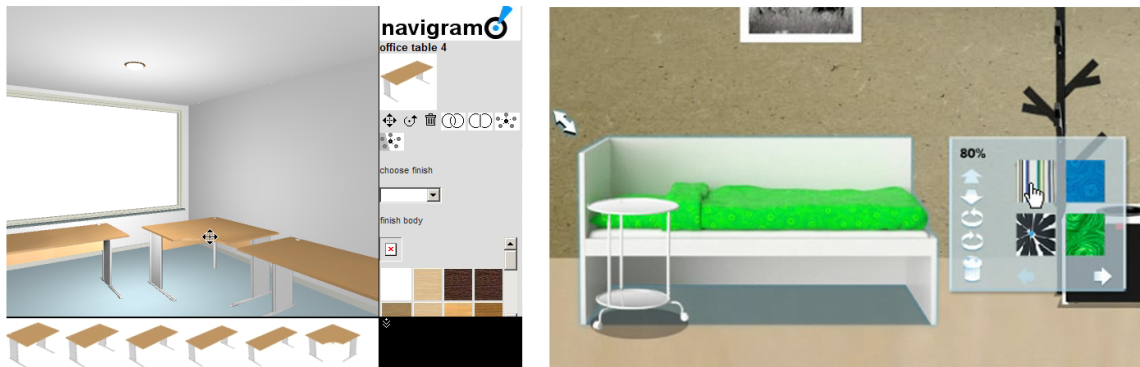


Fig. 20 - Ferramentas de Planificação 3D: *Navigram* e *Home Ikea Planner*.

O *Navigram* disponibiliza um sistema de visualização 3D em tempo real e interacção de modelos 3D, com a aplicação na indústria do mobiliário. Este sistema disponibiliza ferramentas de visualização que possibilitam uma forma inovadora de apresentação de projectos 3D interiores, facilitando a compreensão para o cliente e a verificação de eventuais erros e melhorias que possam vir a serem efectuadas. O objectivo deste sistema é ser funcional e fácil de utilizar, possibilitando a criação e modificação de um espaço virtual no domínio do mobiliário de escritório com o intuito de se assemelhar ao real. O utilizador pode, interactivamente, mudar a disposição de peças de mobiliário num plano 2D, permitindo definir as paredes, portas, janelas (podendo também definir a cor e as dimensões), simulando a decoração do ambiente antes do início da sua construção. Adicionalmente, permite a importação de modelos 3D de mobiliário nos formatos 3DS e OBJ para o projecto, permitindo a escolha de diferentes tipos de aplicações de texturas de forma a obter resultados mais realistas e com maior impacto visual.

3.5. Solução Adoptada

A implementação de uma solução para o problema analisado no capítulo anterior, criou a necessidade de avaliar uma plataforma que garantisse, por um lado, as funcionalidades de visualização 3D e interacção em tempo real com modelos geometricamente complexos e que, por outro, disponibilizasse uma linguagem de programação suficientemente robusta, estável e poderosa.

A escolha baseou-se essencialmente nas capacidades de modelação 3D, nas facilidades de exportação de ficheiros, nas capacidades da linguagem nativa (não só na simplificação geométrica e na parametrização de modelos 3D mas também no desenvolvimento das interfaces) e no sistema de visualização utilizada pela empresa em caso de estudo (a FAMO).

A escolha recaiu no sistema de modelação *3DS MAX*, por preencher todos os requisitos mencionados, para além de ser um dos mais utilizados a nível mundial. Adicionalmente, o sistema de modelação escolhido é também uma das tecnologias utilizadas pela empresa em causa.

3.5.1. Sistema de Modelação 3DS MAX

O *3DS MAX* é um sistema de modelação que possui um vasto leque de funcionalidades, o que o torna uma ferramenta poderosa na criação, visualização e modificação de modelos 3D. Estas qualidades são responsáveis pela sua utilização em larga escala. Sendo normalmente usado na modelação e animação 3D orientada para os domínios dos jogos de computador, filmes, *spots* publicitários, *videoclips* e na criação de mundos virtuais (Figura 21). Este sistema também possibilita a automatização de tarefas complexas, por recurso à sua linguagem de programação *MAXScript* [httpMIT].

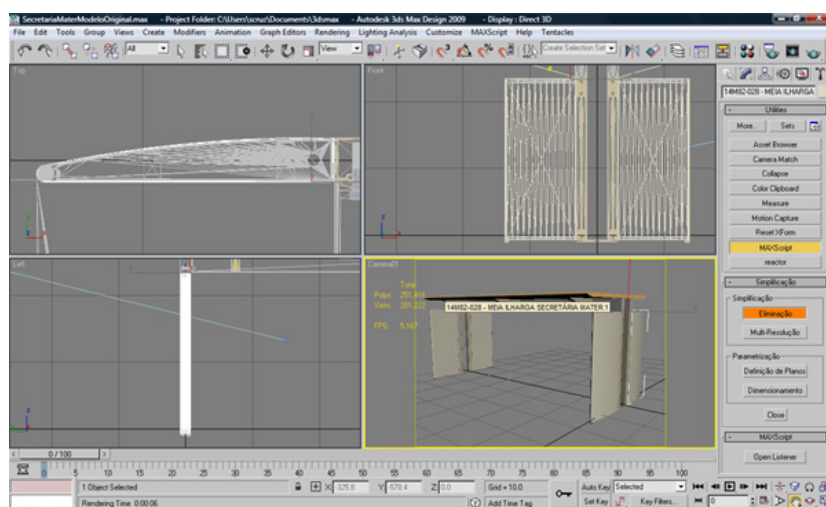


Fig. 21 - Interface do sistema de Visualização 3DS MAX.

Outra vantagem decorrente da utilização do 3DS MAX é a possibilidade de exportar os modelos criados para outros formatos. O facto do modelo 3D ter sido criado no 3DS MAX não constitui um aspecto limitativo, uma vez que este último poderá partilhar os modelos criados com outros sistemas de modelação 3D.

Um outro factor que se reveste de particular importância na selecção do sistema é o facto de a natureza do trabalho assentar numa essência puramente estética em detrimento de uma vertente de maior precisão e rigor técnico (que seria, por exemplo, mais orientado para sistemas CAD, eventualmente o *Autodesk Inventor*).

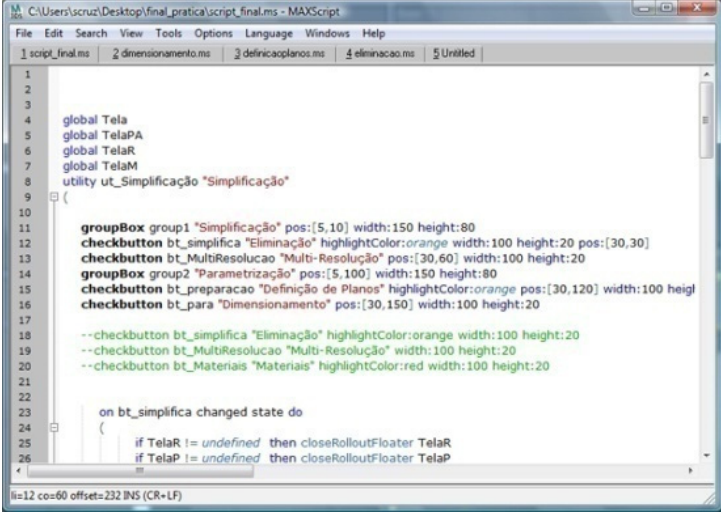
3.5.2. Linguagem de Programação *MAXScript*

O sistema *3DS MAX* permite o desenvolvimento de aplicações baseadas na linguagem de programação *MAXScript*. Esta linguagem possibilita que se automatizem diversos procedimentos para a simplificação dos modelos, bem como metodologias e estratégias para a modificação da dimensão dos mesmos.

A *MAXScript* é uma linguagem interpretada de alto nível, orientada ao objecto, que faz uso da grande maioria das funcionalidades disponibilizadas pelo 3DS MAX [http:IBD]. Esta linguagem é semelhante à linguagem de programação BASIC⁴ e, assim sendo, é uma linguagem fácil de utilizar; possui uma sintaxe definida por um conjunto organizado e coerente de instruções e regras, pelo qual se expressam as várias tarefas executáveis (Figura 22).

⁴ A linguagem **BASIC** foi criada, com fins didácticos, pelos professores John G. Kemeny e T. Kurtz em 1963 no Dartmouth College. O BASIC é uma linguagem de programação simples e largamente disponível, que resume o essencial para a descrição de algoritmos e permite uma fácil extensão natural a grande parte das outras linguagens mais elaboradas (FORTRAN por exemplo).

A linguagem de programação *MAXScript* permite desenvolver uma interface gráfica do tipo WIMPS-GUI (*Windows, Icons, Menus and Pointer System - Graphic User Interface*), integrada na interface do 3DS MAX, que possibilita ao utilizador uma fácil e rápida interação com as aplicações desenvolvidas.



```
1 script_final.ms | 2 dimensionamento.ms | 3 definicaoPlanos.ms | 4 eliminacao.ms | 5 Untitled
File Edit Search View Tools Options Language Windows Help
1
2
3
4 global Tela
5 global TelaPA
6 global TelaR
7 global TelaM
8 utility ut_Simplificacao "Simplificacao"
9
10
11 groupBox group1 "Simplificacao" pos:[5,10] width:150 height:80
12 checkbox bt_simplifica "Eliminacao" highlightColor:orange width:100 height:20 pos:[30,30]
13 checkbox bt_MultiResolucao "Multi-Resolucao" pos:[30,60] width:100 height:20
14 groupBox group2 "Parametrizacao" pos:[5,100] width:150 height:80
15 checkbox bt_preparacao "Definicao de Planos" highlightColor:orange pos:[30,120] width:100 height:20
16 checkbox bt_para "Dimensionamento" pos:[30,150] width:100 height:20
17
18 --checkbox bt_simplifica "Eliminacao" highlightColor:orange width:100 height:20
19 --checkbox bt_MultiResolucao "Multi-Resolucao" width:100 height:20
20 --checkbox bt_Materiais "Materiais" highlightColor:red width:100 height:20
21
22
23 on bt_simplifica changed state do
24 (
25     if TelaR != undefined then closeRolloutFloater TelaR
26     if TelaP != undefined then closeRolloutFloater TelaP
27 )
28
29
```

Fig. 22 - Interface do editor de MAXScript.

No tocante às necessidades específicas da aplicação a desenvolver, a *MAXScript* disponibiliza funcionalidades para a simplificação geométrica da malha poligonal, alteração global da malha (sendo possível trabalhar ao nível de vértices, arestas e faces do modelo 3D) e todo um vasto conjunto de modificadores de geometria.

Infelizmente, a linguagem *MAXScript* demonstrou possuir um volume de bibliografia impressa muito limitada e, em parte, tendencialmente obsoleta. Nesse sentido, as principais referências bibliográficas relativas a esta linguagem consistiram no manual de referência *online* do *MAXScript* (disponibilizado através do menu *Help* do 3DS MAX).

3.6. Sumário do Capítulo

O objectivo deste capítulo consistiu na análise e na descrição detalhada dos problemas que deverão ser solucionados para que os objectivos desta tese possam ser atingidos. Adicionalmente, foram apresentadas um conjunto de possíveis soluções tecnológicas para estes problemas. Sempre que possível, tentou-se tirar o máximo partido das soluções existente no actual estado da arte e realizando também o melhor aproveitamento possível dos recursos tecnológicos que a empresa possui.

No próximo capítulo será descrita detalhadamente a implementação das soluções que foram avançadas neste capítulo.

Capítulo IV

4. Implementação da Solução

As soluções para os problemas analisados no capítulo 3 foram implementadas na linguagem nativa do 3DS MAX, o MAXScript. No capítulo anterior, optou-se por dividir o problema em três partes principais: a simplificação geométrica dos modelos 3D, a sua parametrização e a sincronização entre o modelo de apresentação e o seu congénere de produção. A primeira parte desenvolve-se em duas etapas: a eliminação de componentes visualmente pouco significativos e a simplificação geométrica das superfícies dos componentes não eliminados (ver secção 3.1). A segunda parte desenvolve-se, igualmente, em duas etapas, a saber, definição dos parâmetros dimensionais e respectivos planos de corte e parametrização do modelo 3D (ver secção 3.2). No presente estágio de desenvolvimento, a terceira parte resume-se a uma implementação provisória de natureza essencialmente manual (ver secção 3.3).

Na implementação da solução, optou-se por dividi-la em quatro aplicações interligadas, de acordo com as partes identificadas anteriormente na Análise do Problema:

- (1ª) Eliminação de componentes visualmente pouco significativos;
- (2ª) Simplificação geométrica da superfície dos componentes;
- (3ª) Definição de parâmetros e respectivos planos de corte;

- (4ª) Parametrização do modelo 3D.

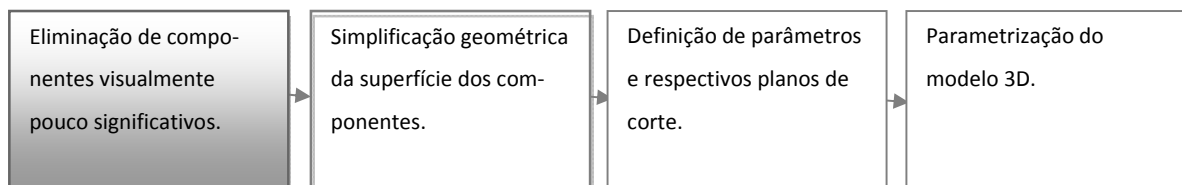
Estas aplicações, utilizadas sequencialmente, possibilitam um fluxo de trabalho que transforma um modelo 3D de produção num modelo 3D de apresentação passível de ser parametrizado dimensionalmente. As aplicações implementadas são funcionalmente independentes, mas encontram-se interligadas através do modelo 3D existente e da informação relativa aos parâmetros e respectivos planos de cortes que é partilhada entre a 3ª e 4ª aplicação.

4.1. Importação do Modelo 3D

Os modelos de produção são originalmente desenvolvidos no sistema de CAD *Autodesk Inventor*. Estes modelos estão armazenados, na memória auxiliar, em ficheiros no formato AIM⁵ que é o formato nativo do *Autodesk Inventor*. Portanto, para que o modelo possa ser utilizado no sistema de modelação 3DS MAX, o respectivo ficheiro necessita de ser importado. Tal como já foi salientado na Especificação da Solução, o 3DS MAX é capaz de importar ficheiros nos mais diversificados formatos, entre os quais se encontra o formato AIM. Os modelos importados encontram-se representados através da representação da Fronteira (*B-Rep*). Esta representação é particularmente adequada para a aplicação de algoritmos de simplificação, tal com já foi referido anteriormente.

4.2. Eliminação de Componentes Visualmente Pouco Significati-

VOS



⁵ O AIM (*Autodesk Inventor Model*) é o formato nativo do sistema de CAD *Autodesk Inventor* para o armazenamento de modelos 3D.

A primeira fase da simplificação tem como objectivo eliminar todos os componentes do modelo 3D que não contribuem significativamente para a aparência visual deste último. Os componentes podem ser eliminados segundo dois critérios: o volume relativo e a área relativa (Figura 23).

4.2.1. Volume Relativo

O cálculo do volume de um componente pode ser uma tarefa particularmente complexa e demorada. Fundamentalmente, a complexidade deste processo é muito dependente da morfologia desse componente. Como já foi referido na Análise do Problema, os modelos de produção possuem normalmente um número muito elevado de componentes. Nesse sentido, realizar o cálculo do volume de todos os componentes de um modelo 3D desta natureza, consiste num processo demorado e que exige um elevado esforço de processamento.

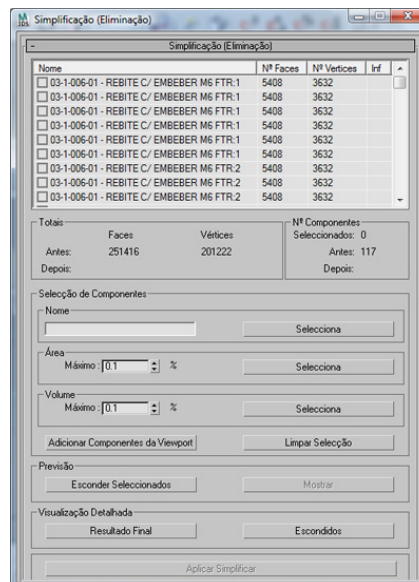


Fig. 23 - Interface da aplicação de simplificação de eliminação de componentes visualmente pouco significativos.

Uma possível solução passaria por realizar este esforço de processamento na fase de arranque da aplicação, em vez de o realizar durante o processo de simplificação propriamente dito. Se bem que esta solução tornaria o processo de simplificação consideravelmente mais rápido, visto que os volumes de cada componente já estariam calculados, tem ainda assim duas importantes desvantagens. Em primeiro lugar, o tempo de arranque da aplicação poderia ser demasiado longo, consoante a complexidade e o número de componentes existentes. Geralmente, esta situação produz uma sensação de frustração no utilizador, que deverá ser tendencialmente evitada. Em segundo lugar, existe a limitação de que nenhum componente do modelo 3D poderá sofrer qualquer tipo de alteração do seu volume após o processo de cálculo inicial, visto que se tal sucedesse, os cálculos efectuados inicialmente ficariam imediatamente desactualizados. A aplicação desenvolvida funciona paralelamente ao *viewport* do 3DS MAX e, por conseguinte, nada impede o utilizador de realizar qualquer tipo de alteração aos modelos 3D, que possa eventualmente afectar o volume de alguns componentes. Por outro lado, impedir que o utilizador possa modificar o modelo 3D, através do *viewport* e durante a execução da aplicação, viola o princípio de paralelismo inerente à arquitectura do 3DS MAX.

Uma alternativa mais eficiente e menos limitativa consiste em calcular o volume do paralelepípedo envolvente do componente (*Bounding Box*) em vez de calcular o volume do próprio (Figura 24). O cálculo de volume do paralelepípedo envolvente pode ser considerado como uma aproximação grosseira ao volume exacto. Em contra-partida, é extremamente simples de resolver, uma vez que consiste somente na multiplicação das três dimensões do paralelepípedo, facto que é determinante para a rapidez de todo o processo. Por outro lado, para efeitos de identificação de componentes visualmente pouco significativos, a utilização do volume do paralelepípedo produz, geralmente, resultados globalmente equivalentes à utilização do volume do próprio componente, mas com a importante vantagem da rapidez superior de todo o processo.

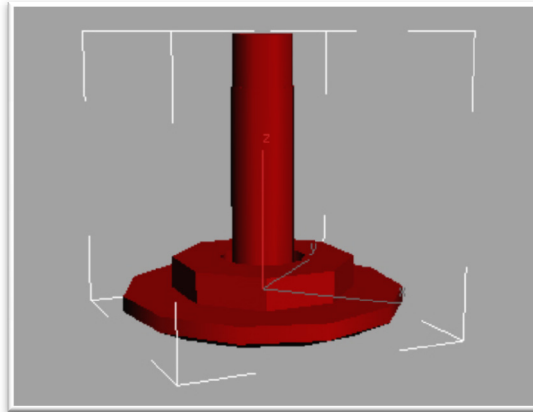


Fig. 24 - Representação do paralelepípedo envolvente (*Bounding Box*) de um parafuso.

Para cada componente, é calculada a razão entre o volume representativo do componente e o volume representativo do modelo 3D que, por uma questão de uniformização, também é substituído pelo volume do seu paralelepípedo envolvente. Se essa razão for inferior a um limiar definido pelo utilizador, o componente é eliminado.

Este método produz geralmente bons resultados visuais, mas existem alguns objectos que, sendo visualmente significativos, poderão ainda assim possuir um volume relativo muito reduzido. Nesta situação, tal como já foi explicado anteriormente, a utilização do volume representativo (seja ele do próprio componente ou do paralelepípedo envolvente) poderá contribuir para eliminar, incorrectamente, alguns componentes visualmente significativos.

4.2.2. Área Relativa

Tal como foi descrito na Análise do Problema, a área representativa de cada componente consiste na área da sua projecção na vista mais significativa (a que possui a projecção de maior área). O cálculo desta área é um processo relativamente complexo e uma vez que deverá ser realizado para cada um dos componentes do modelo 3D, também será consideravelmente lento. Tal como já foi referido na secção anterior, este cálculo poderia ser reali-

zado na fase de arranque da aplicação. No entanto, no caso concreto da área, esta solução também possui as duas desvantagens atrás enunciadas.

Uma abordagem mais eficiente consiste em recorrer, mais uma vez, aos paralelepípedos envolventes dos componentes. Nesta abordagem, a área representativa do componente consiste na área da maior face do paralelepípedo que o envolve (Figura 25). Tal como sucedeu no cálculo do volume, o cálculo da área segundo esta abordagem consiste numa aproximação grosseira à área exacta da projecção do componente na sua vista mais significativa. No entanto, visto que o cálculo dessa área é extremamente simples (consiste na multiplicação de duas das dimensões do paralelepípedo envolvente), a rapidez de todo o processo é muito elevada. Para cada componente, é calculada a razão entre a sua área representativa e a área representativa do modelo 3D, que consiste na área de maior face do paralelepípedo envolvente. Se essa razão for inferior a um limiar definido pelo utilizador, o componente é eliminado.

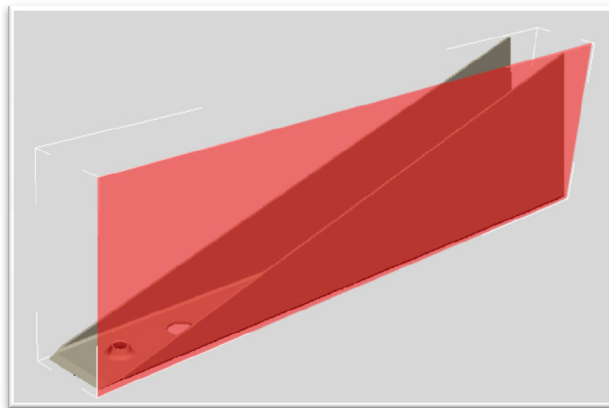
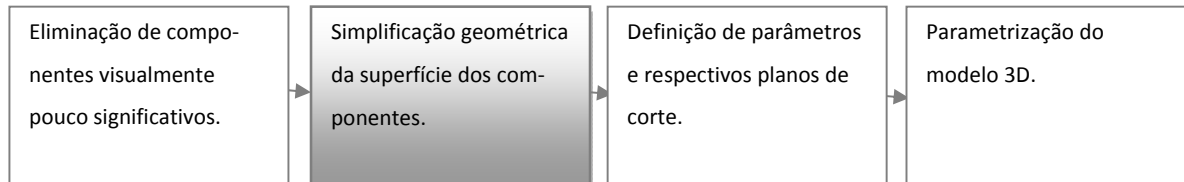


Fig. 25 - Representação da face mais significativa de um paralelepípedo envolvente (*Bounding Box*) de um componente.

A utilização desta abordagem produz resultados globalmente aceitáveis, se bem que geralmente inferiores ao cálculo exacto da área de projecção do componente na sua vista mais significativa.

4.3. Simplificação Geométrica da Superfície dos Componentes



Após a eliminação dos componentes visualmente pouco significativos, o processo de simplificação do modelo 3D incide na simplificação geométrica da superfície dos componentes (ver secção 2.4.3) que não foram eliminados pela primeira aplicação (Figura 26). Esta desenvolve-se ao longo de duas fases: remoção de toda a geometria de natureza redundante e simplificação através da utilização de um algoritmo de simplificação que removerá uma percentagem dos vértices, tentando manter, o mais possível, a aparência visual original do componente. Como já foi referido na Análise do Problema, a primeira etapa é dispensável para determinados modelos 3D. Somente em situações nas quais o modelo 3D foi construído com uma geometria não otimizada é que esta fase é capaz de produzir resultados significativos no tocante à simplificação da geometria. Normalmente, a segunda etapa é a principal responsável pelo esforço de simplificação realizado por esta aplicação.

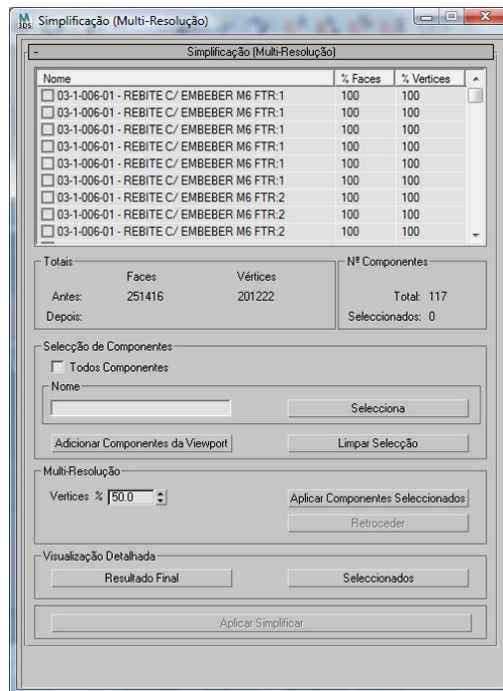


Fig. 26 - Interface da aplicação de simplificação geométrica da superfície dos componentes.

A implementação de ambas as fases baseou-se, respectivamente, na utilização de dois importantes modificadores disponibilizados pela linguagem MAXScript: o *Optimize*⁶ e o *MultiRes*⁷.

No contexto deste trabalho, o modificador *Optimize* é utilizado, única e exclusivamente, para a remoção de geometria redundante que porventura possa existir na superfície do componente.

O modificador *MultiRes* simplifica a geometria da superfície de um determinado componente através da aplicação de um algoritmo de simplificação da malha poligonal

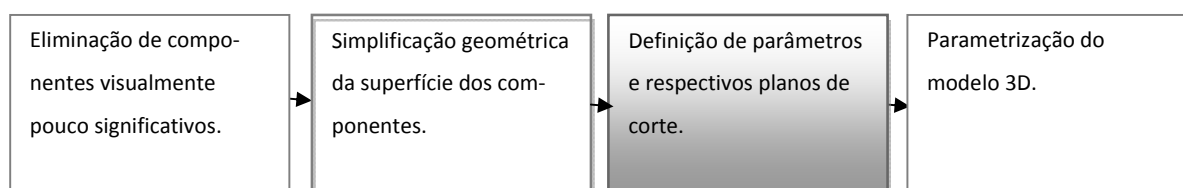
⁶ O *Optimize* é um modificador do 3DS MAX/MAXScript que realiza a otimização de uma malha *B-Rep* de um modelo 3D, sendo capaz de remover toda a geometria redundante que porventura possa existir.

⁷ O *MultiRes* é um modificador do 3DS MAX/MAXScript que realiza a simplificação de uma malha *B-Rep* de um modelo 3D. Esta simplificação pode reduzir consideravelmente a complexidade geométrica do modelo 3D, mas possui o inconveniente de poder alterar substancialmente a aparência visual do modelo simplificado relativamente ao original.

baseado no método de Aglomeração de Vértices (*Vertex Clustering*). Um dos parâmetros mais importantes deste modificador consiste no `VertexPercentage`, que permite estipular qual será, aproximadamente, a percentagem de vértices no componente resultante do processo de simplificação relativamente ao número de vértices originais. Apesar de este modificador aceitar percentagens muito baixas, na ordem do 1%, é importante salientar que, nesse caso, a aparência visual do componente resultante poderá não ser semelhante à do componente original. Visto que o algoritmo é de uma natureza não topológica, determinados aspectos, como buracos e orifícios, poderão desaparecer após a simplificação. Geralmente, simplificações até metade do número de vértices do componente original não alteram, de uma forma significativa, a aparência visual do componente simplificado. No entanto, para valores progressivamente inferiores, a aparência visual resultante começa a degradar-se, apresentando cada vez menos semelhanças com o componente original. A percentagem de vértices é definida pelo utilizador, podendo ser constante para todos os componentes ou variar entre conjuntos de componentes.

Com este módulo termina a primeira parte da solução implementada: a simplificação geométrica do modelo 3D. Nas duas próximas secções será descrita a implementação da segunda parte da solução: a parametrização do modelo 3D.

4.4. Definição de Parâmetros e Planos de Corte



Para parametrizar um modelo 3D é necessário, antes de mais, definir os vários parâmetros e, para cada um destes, definir pelo menos, um plano de corte (Figura 27).

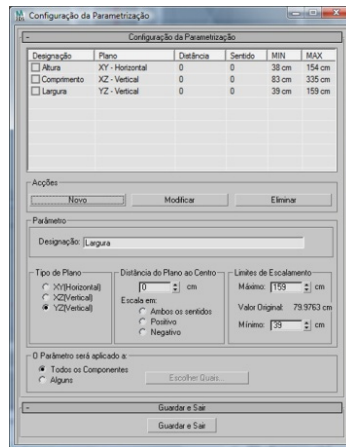


Fig. 27 - Interface da aplicação de definição de parâmetros e planos de corte.

Esta aplicação, para um determinado modelo 3D, cria um ficheiro com a descrição dos vários parâmetros e planos de corte que será posteriormente utilizada pela aplicação seguinte durante a parametrização desse modelo 3D (Figura 28).

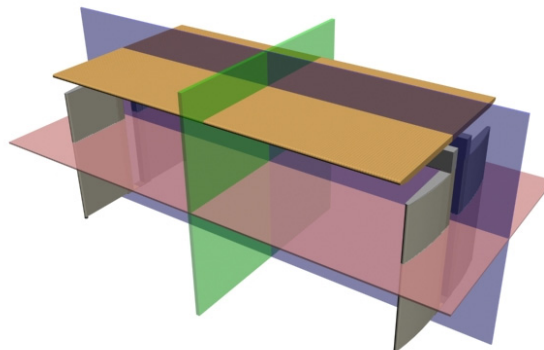


Fig. 28 - Definição de planos de Corte.

O utilizador poderá criar, para o presente modelo 3D, um ou mais parâmetros associando, a cada parâmetro, um ou mais planos de corte. Geralmente, cada parâmetro possui um só plano de corte, mas é possível que possua mais. No presente estado de desenvolvimento da aplicação, os planos de corte devem ser obrigatoriamente paralelos ou coincidentes com os planos ordenados (XY, YZ ou XZ) do sistema de referência universal de coordenadas. No entanto, num desenvolvimento futuro, pretende-se que os planos de corte sejam

livres desta limitação. No tocante ao posicionamento, o plano de corte encontra-se posicionado, por defeito, no centro geométrico do modelo 3D, mas a sua posição pode ser alterada para qualquer posição dentro do paralelepípedo envolvente do modelo 3D. Adicionalmente, também é possível identificar, caso seja necessário, quais são os componentes que não são afectados pelo parâmetro em questão.

Em termos de implementação, toda a informação relativa a um parâmetro e ao seu plano de corte é armazenada na classe `parametro`. Esta classe é crucial para o funcionamento do terceiro e quarto módulos e será descrita a seguir.

4.4.1. Classe Parâmetro

Em termos de implementação, cada parâmetro é representado por um objecto da classe `parametro` que é constituída pelos seguintes atributos:

`desig`: designação do parâmetro (por exemplo, a altura);

`id_TipoPlano`: identifica o tipo de plano (consoante é paralelo ao plano XY, XZ ou YZ);

`dist_PlanoAoCentro`: vector que quantifica as distâncias ao centro geométrico do modelo 3D dos vários planos de corte;

`limites`: vector que define o intervalo de valores (mínimo e máximo) no qual o parâmetro pode variar;

`valor_original`: quantifica o valor original do parâmetro (antes de sofrer qualquer alteração);

`valor_actual`: quantifica o valor actual do parâmetro (após a última alteração);

`obj_plano`: vector que armazena as primitivas gráficas do tipo `Box` que representam visualmente os vários planos de corte,

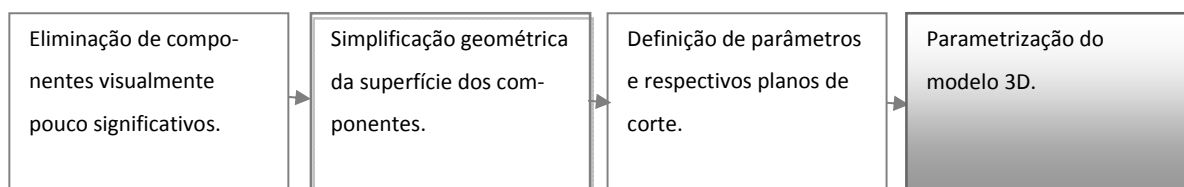
`n_obj_n_aplica`: quantifica o número de componentes que são indiferentes ao parâmetro (se este número for nulo, então o próximo atributo, `obj_aplica`, é ignorado);

`obj_aplica`: um `BitArray`⁸ que indica se cada componente, existente no modelo 3D, é indiferente ao parâmetro ou não;

`sentido_escala`: indica se as transformações resultantes da alteração do parâmetro afectam os componentes de ambos os lados do plano de corte ou só de um dos lados (este parâmetro só é aplicável caso exista um só plano de corte associado a este parâmetro).

Toda a informação contida nos diversos objectos da classe `parametro` é armazenada num ficheiro, em formato ASCII, com a mesma designação do ficheiro que contém o modelo 3D, mas com a extensão “PMT”. Este ficheiro serve de interface para a quarta aplicação.

4.5. Parametrização do Modelo 3D



A quarta aplicação (Figura 29) possibilita a parametrização do modelo 3D segundo os parâmetros que foram definidos na terceira aplicação. Para que a quarta aplicação possa ser executada, é necessário que o ficheiro de parametrização do modelo 3D já tenha sido criado pela aplicação anterior. Se tal não sucedeu, a execução da aplicação de parametrização é interrompida com a respectiva mensagem de erro.

⁸ Vector de valores binários.

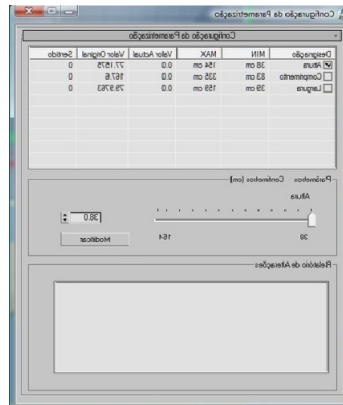


Fig. 29 - Interface da aplicação de parametrização do modelo 3D.

4.5.1. Classificação de Componentes e Vértices

A classificação é importante para determinar o tipo de comportamento que um componente possui quando um parâmetro dimensional é alterado. A aplicação de Parametrização deverá, para cada parâmetro e respectivo plano de corte, classificar todos os componentes que constituem o modelo 3D.

Este processo de classificação é dividido em duas fases: na primeira fase, os componentes são identificados quanto ao facto de serem intersectados ou não pelo plano de corte; na segunda fase, todos os vértices dos componentes intersectados, com o lado em que se encontram relativamente ao plano de corte. Nesse sentido, se o componente é intersectado pelo plano de corte, então sofrerá uma alteração de dimensão igual à alteração sofrida pelo parâmetro; se não for intersectado, então deslocar-se-á na direcção da normal do plano de corte mantendo-se a sua dimensão inalterada.

Os resultados da primeira fase da classificação são armazenados na matriz 2D `vec_plano_obj`, na qual cada linha representa um plano de corte e cada coluna representa um componente. Cada célula desta matriz poderá conter o valor zero, se o componente correspondente à coluna for intersectado pelo plano de corte correspondente à linha a que essa célula pertence. Se a célula contiver um valor diferente de zero, então o compo-

nente não foi intersectado pelo plano de corte e o valor absoluto contido nessa célula identifica a distância do centro do componente ao plano de corte. O sinal do valor armazenado na célula identifica o lado em que o componente se encontra relativamente ao plano de corte (Figura 30).

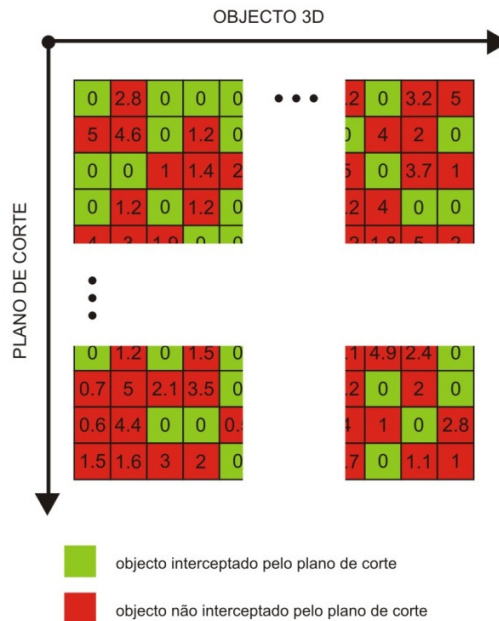


Fig. 30 – Diagrama da Matriz 2D do Vec_plano_obj.

A segunda fase da classificação mencionada é importante para o processo de alteração da dimensão dos componentes intersectados. A solução mais comum para alterar a dimensão de um componente que utiliza o modificador de escalamento, o *Scale*⁹, apresenta uma importante desvantagem que consiste no seguinte: após a transformação, as posições relativas dos vértices, que constituem o componente, não são preservadas, o que implica a alteração da estrutura morfológica do mesmo. Um exemplo dessa situação consiste numa secretária cujas pernas se encontram a 10 cm das extremidades do tampo, à qual é aplicado um modificador de escalamento com o intuito de aumentar a largura da secretária

⁹ O *Scale* é um modificador do 3DS MAX/MAXScript que realiza um escalamento uniforme ou não-uniforme a um determinado modelo 3D.

em 20 cm; após este escalamento, a distância entre as pernas e as extremidades do tampo já não seria igual aos 10 cm originais.

Para evitar este tipo de situações é necessário que as restrições de posicionamento sejam respeitadas durante a parametrização, para que o posicionamento relativo dos vértices seja preservado. Nesse sentido, cada vértice, pertencente a um componente intersectado pelo plano de corte, deverá ser deslocado na direcção da normal do plano de corte e no sentido determinado pelo aumento ou diminuição do parâmetro e pelo lado do plano em que o vértice se encontra. Esta última informação é obtida durante a segunda fase do processo de classificação. Assim sendo, no caso de o parâmetro aumentar, os vértices afastam-se do plano de corte e, caso contrário, aproximam-se.

Os resultados da segunda fase da classificação são armazenados num conjunto de *bitArrays* designado por *vec_plano_obj_vert*. Neste conjunto, para cada plano de corte e componente, é armazenado um *bitArray* que identifica o lado em que cada vértice do componente se encontra relativamente ao plano de corte em questão. Cada *bitArray* possui um número de elementos igual ao número de vértices existentes no componente associado (Figura 31).

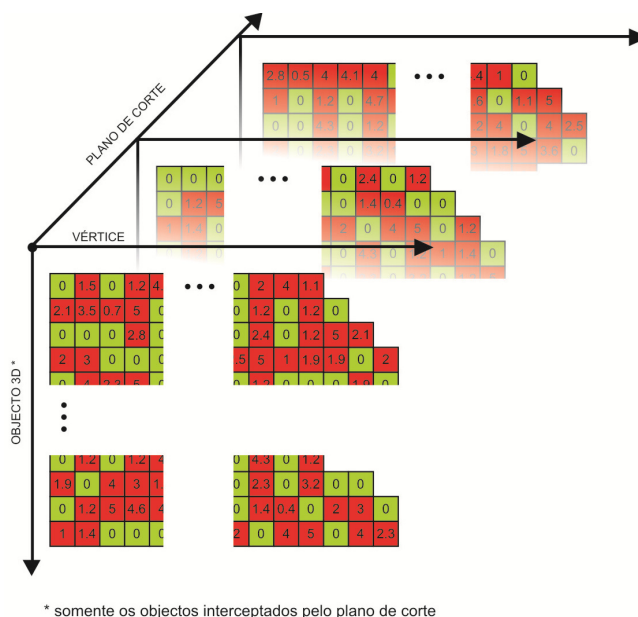


Fig. 31 – Diagrama da Matriz do *Vec_plano_obj_vert*.

4.5.2. Alteração dos Parâmetros

Concluído o processo de classificação, o utilizador é livre para alterar os valores dos parâmetros dentro dos limites definidos durante a utilização da aplicação de Definição de Parâmetros.

Sempre que um parâmetro é alterado, os componentes serão transformados de acordo com o seu comportamento. Dessa forma, os componentes intersectados pelo plano de corte sofrem uma alteração da sua dimensão igual à alteração do parâmetro respectivo; os componentes não intersectados são deslocados ao longo da direcção da normal do plano de corte, sem sofrerem qualquer alteração na sua dimensão. Neste segundo caso, a distância de deslocamento é igual a metade da alteração sofrida pelo parâmetro.

4.6. Sincronização do Modelo de Produção com o Modelo de Apresentação

Na presente fase de desenvolvimento, optou-se pela implementação de uma solução de cariz provisório para resolver o problema da sincronização entre o modelo de produção e o modelo de apresentação. A solução implementada é relativamente rudimentar e consiste na geração automática de um relatório das alterações efectuadas sobre o modelo de apresentação, com o objectivo de ser interpretado pelo desenhador, para que este possa efectuar manualmente as alterações correspondentes ao modelo de produção.

Futuramente, pretende-se implementar uma solução automática para este problema e que já foi descrita, de forma resumida, na Análise do Problema.

4.7. Sumário do Capítulo

O objectivo deste capítulo consistiu na descrição detalhada da implementação das soluções descritas no terceiro capítulo. A implementação das soluções consistiu no desenvolvimento de quatro aplicações que funcionam em ambiente 3DS MAX e foram escritas na linguagem MAXScript.

No próximo capítulo será realizada a avaliação das soluções implementadas.

Capítulo V

5. Avaliação dos Resultados

Para realizar a avaliação dos resultados obtidos pela solução desenvolvida foram utilizados quatro modelos distintos, relativos a quatro peças de mobiliário produzidas pela empresa, em caso de estudo. Os quatro modelos consistem, respectivamente, em duas secretárias (*Mater* e *Ekeno*) e dois blocos (*Smile* e *Kima*), que se podem observar na Figura 32. Estes modelos foram escolhidos pelo facto de serem bons representantes da gama de mobiliário produzido pela empresa em caso de estudo.



Fig. 32 - Modelos 3D Originais (da esquerda para a direita: secretária *Mater*, secretária *Ekeno*, bloco *Smile* e bloco *Kima*).

Pela observação dos valores contidos na tabela 1 é possível concluir que os modelos 3D, acima apresentados, possuem uma complexidade geométrica apreciável. Os modelos *Ekeno*, *Smile* e *Kima* possuem um número total de vértices/faces na ordem das dezenas de milhares, enquanto o modelo *Mater* possui um total na ordem das centenas de milhares. No

tocante ao número de componentes, todos os modelos possuem valores próximos de uma centena, com a exceção do modelo *Ekeno* que possui um número de componentes ligeiramente inferior (80 componentes). Este nível de complexidade é relativamente elevado, principalmente quando se trata de integrar os modelos em sistemas de visualização.

Modelos	Faces	Vértices	Nº de Componentes
Secretária <i>Mater</i>	251416	201222	117
Secretária <i>Ekeno</i>	22478	26810	80
Bloco <i>Smile</i>	49488	59071	116
Bloco <i>Kima</i>	62914	67254	100

Tabela 1 – Identificação do nº de faces, vértices e componentes que compõem os modelos originais.

Em seguida são apresentados os resultados do desempenho dos dois processos de simplificação descritos nas secções 4.2 e 4.3: a eliminação de componentes visualmente pouco significativos e a simplificação geométrica da superfície dos componentes.

Para analisar o desempenho do processo de simplificação por eliminação de componentes visualmente pouco significativos, foram criados, para cada um dos quatro modelos originais (figura 32), três modelos simplificados, considerando três níveis de simplificação possíveis (Máximo Detalhe, Médio Detalhe e Mínimo Detalhe).

5.1. Eliminação de Componentes Visualmente Pouco Significativos

5.1.1. Modelo *Mater*

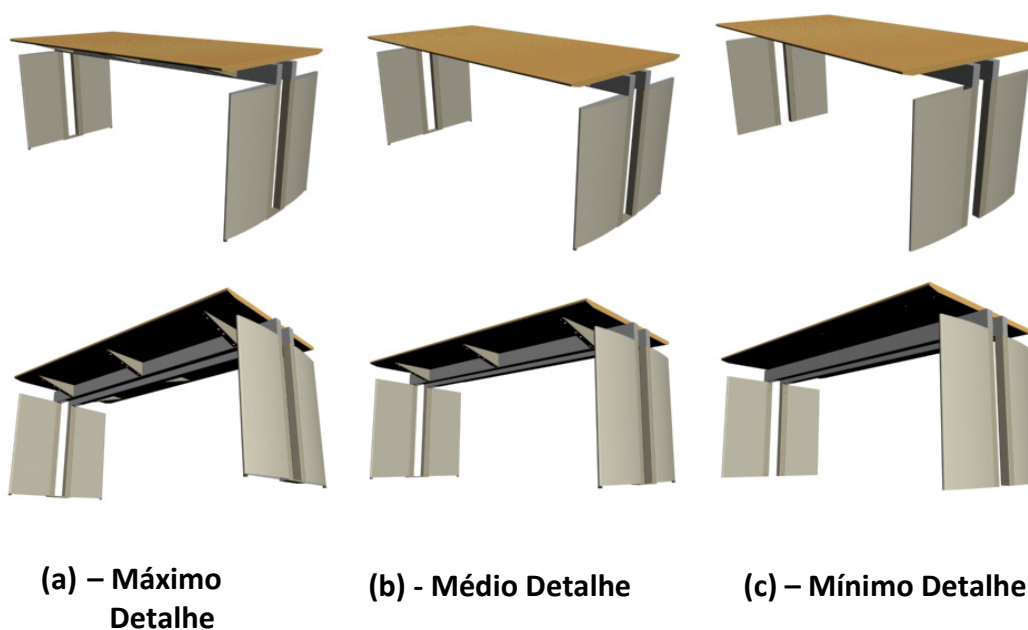


Fig. 33 - Modelo de uma Secretária *Mater* a partir dos quais foram gerados modelos simplificados.

	Máximo Detalhe	Médio Detalhe	Mínimo Detalhe
Nº Faces	124876	63244	5900
	(50%)	(25%)	(2%)
Nº Vértices	103932	51588	6396
	(52%)	(26%)	(3%)
Nº de Componentes	92	54	15
	(71%)	(46%)	(13%)

Tabela 2 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes da secretaria *Mater* em três versões de simplificação de eliminação de componentes.

Pela análise da tabela 1, podem-se obter as seguintes conclusões: o nível máximo detalhe permitiu simplificar consideravelmente a complexidade geométrica do modelo, efectuando uma redução para 71% do número de componentes, para 50% do número de faces e para 52% do número de vértices relativamente ao modelo original; o nível médio detalhe permitiu uma redução para 46% no total dos seus componentes possuindo aproximadamente entre 25% do número de faces e 26% do número de vértices do modelo original. Para os níveis: máximo detalhe e médio detalhe de simplificação, é possível observar uma semelhança apreciável com a aparência do modelo original. Relativamente ao nível mínimo detalhe, este possui uma taxa de simplificação para 13% do seu número de componentes, para 2% do número de faces e para 3% do número de vértices relativamente ao modelo original, como se pode observar o aspecto visual do modelo 3D é preservado desde que este possua uma percentagem do número de componentes superior a 13% relativamente ao número original.

5.1.2. Modelo *Kima*

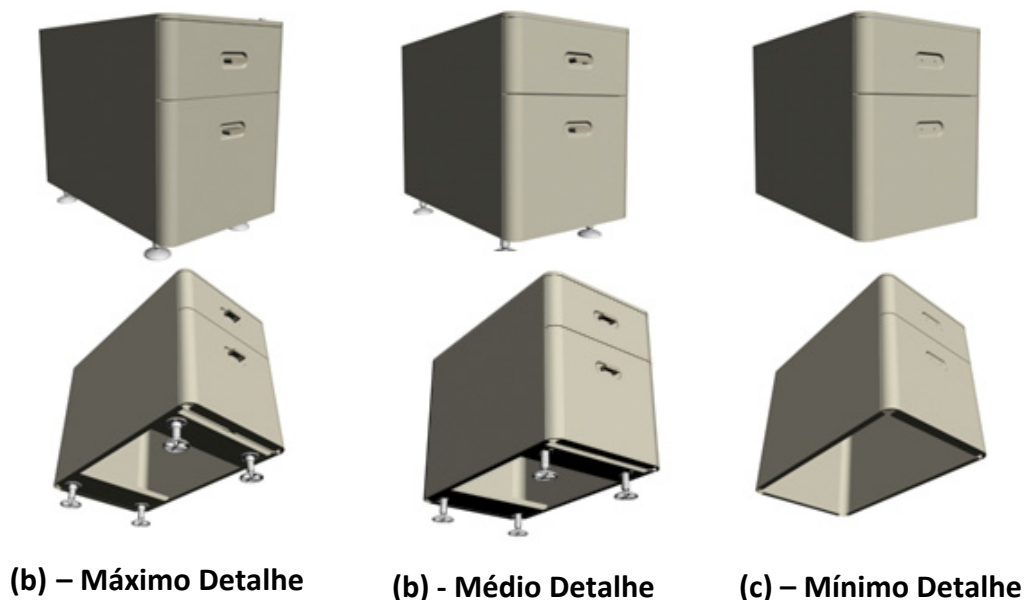


Fig. 31 - Modelo de um Bloco *Kima* a partir dos quais foram gerados modelos simplificados.

	Máximo detalhe	Médio Detalhe	Mínimo Detalhe
Nº Faces	48320	31328	2524
	(77%)	(50%)	(4%)
Vértices	51404	30604	2872
	(76%)	(46%)	(4%)
Nº de Componentes	51	18	5
	(51%)	(18%)	(5%)

Tabela 3 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes do Bloco *Kima* em três versões de simplificação de eliminação de componentes.

Pela análise da tabela 3, podem-se obter as seguintes conclusões: o nível máximo detalhe permitiu simplificar consideravelmente a complexidade geométrica do modelo, efectuando uma redução para 51% do número de componentes, para 77% do número de faces e para 46% do número de vértices relativamente ao modelo original; sem existir uma perda notória de qualidade visual do modelo 3D, o nível médio detalhe permitiu uma redução para 18% no total dos seus componentes possuindo aproximadamente entre 49% do número de faces e 46% do número de vértices relativamente ao modelo original, mantendo uma semelhança apreciável com a aparência do modelo original. O resultado obtido do nível mínimo foi visualmente mais fraco que o modelo Mater, tal como se pode ver na figura 31, verifica-se uma perda de alguns componentes visualmente significativos, por exemplo a remoção dos componentes que compõem a base/pés do modelo, colocando em causa a estrutura do modelo.

Nas tabelas 4 e 6 são apresentados o desempenho do processo de simplificação geométrica da superfície dos componentes em termos da redução do número de vértices. Para um conjunto diferenciado de objectos em que o número de faces/vértices varia consideravelmente, o número de vértices diminui aproximadamente para metade de um nível multi-resolução para o seguinte durante o processo de simplificação.

As tabelas 5 e 7 permitem comparar a geometria das malhas (o nº de vértices) e ter uma maior percepção dos valores obtidos com a simplificação por eliminação de componentes nas diferentes versões de simplificação da superfície das componentes.

5.2. Simplificação da Superfície das Componentes

5.2.1. Modelo *Mater*



Fig. 32 - Versões Simplificadas para dois níveis de detalhe da secretária *Mater*.

	Modelo Original	Máximo Detalhe	Mínimo Detalhe
Nº Faces	251416	116788	54256
	(100%)	(46%)	(22%)
Nº Vértices	201222	100619	50316
	(100%)	(50%)	(25%)
Nº de Componentes	118	118	118
	(100%)	(100%)	(100%)

Tabela 4 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes do modelo secretária *Mater* para duas versões simplificadas da superfície dos componentes (para 50% e 25 % do número original de faces).

Nº de Vértices	Modelo Original	Multi-Resolução Máximo	Multi-Resolução Mínimo
Modelo Original	201222	100619	50316
	(100%)	(50%)	(25%)
Eliminação Máxima	103932	51974	25989
	(100%)	(50%)	(25%)
Eliminação Média	51588	25798	12899
	(100%)	(50%)	(25%)
Eliminação Mínima	6396	3198	1547
	(100%)	(50%)	(24%)

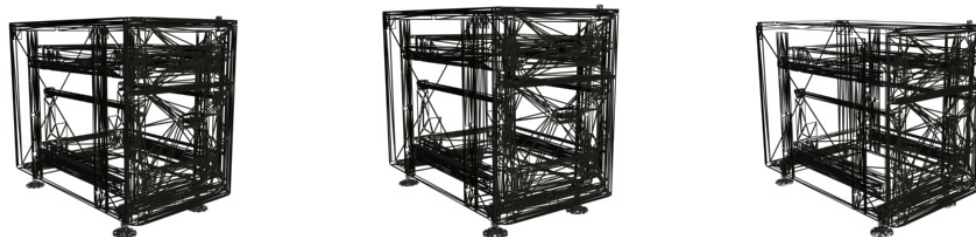
Tabela 5 - Comparação do nº de vértices do modelo Mater entre o resultado obtido das versões de simplificação por eliminação das componentes (Eliminação: Máxima, Média Detalhe e Mínima Detalhe) e das versões de simplificação da superfície das componentes (Multi-Resolução: Máximo, Mínimo).

Pela análise da tabela 4 e 5, pode-se concluir que o nível mínimo detalhe possui aproximadamente entre 46% a 50% do número de faces/vértices do nível máximo detalhe.

O algoritmo consegue reduzir o número de vértices de uma malha até cerca de 50%, numa única simplificação. Por exemplo, na figura 32 pode-se observar o modelo 3D de uma secretária com 201222 vértices (no modelo original) e duas versões simplificadas do modelo original. Neste caso, para a primeira simplificação, a redução do número de vértices atingiu os 50%. Como se pode igualmente verificar, o algoritmo mantém a forma global do modelo onde apenas alguns detalhes de forma se vão perdendo em cada simplificação.

Na tabela 5, que representa os dados obtidos das versões de simplificação por eliminação das componentes com as respectivas versões de simplificação da superfície das componentes, verifica-se que continua a diminuir significativamente o número de vértices e faces relativamente à malha original.

5.2.2. Modelo *Kima*



(a)– Modelo Original

(b) - Máximo Detalhe

(c) – Mínimo Detalhe

Fig. 33 - Versões Simplificadas para dois níveis de detalhe do Bloco *Kima*.

	Modelo Original	Máximo Detalhe	Mínimo Detalhe
Nº Faces	62914	26969	12839
	(100%)	(43%)	(20%)
Nº Vértices	67254	33613	16806
	(100%)	(50%)	(25%)
Nº de Componentes	100	100	100
	(100%)	(100%)	(100%)

Tabela 6 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes do modelo *Kima* para duas versões simplificadas da superfície dos componentes (para 50% e 25 % do número original de faces).

Nº de Vértices	Modelo Original	Multi-Resolução Máximo	Multi-Resolução Mínimo
Modelo Original	67254	33613	16806
	(100%)	(50%)	(25%)
Eliminação Máxima	51404	25682	12840
	(100%)	(50%)	(25%)
Eliminação Média	30604	15282	7587
	(100%)	(50%)	(25%)
Eliminação Mínima	2872	1420	656
	(100%)	(49%)	(23%)

Tabela 7 - Comparação do nº de vértices do modelo *Kima* entre o resultado obtido das versões de simplificação por eliminação das componentes (Eliminação: Máxima Detalhe, Média Detalhe e Mínima Detalhe) e das versões de simplificação da superfície das componentes (Multi-Resolução: Máximo, Mínimo).

Os resultados obtidos para o modelo *Kima* foram semelhantes aos resultados ilustrados na figura 33, parecendo satisfatórios ao nível da geometria e estrutura do modelo.

Está disponível no Anexo I os resultados obtidos da secretária *Ekeno* e do Bloco *Smile* quanto aos dois processos de simplificação: a eliminação de componentes visualmente pouco significativos e a simplificação geométrica da superfície dos componentes.

5.3. Conclusão da Avaliação de Resultados

A avaliação de resultados permitiu concluir que é possível simplificar razoavelmente a geometria de todos os modelos avaliados mantendo-se ainda assim uma semelhança apreciável com a aparência original dos modelos.

Na primeira parte da avaliação, correspondente à aplicação da eliminação de componentes visualmente pouco significativos, obtiveram-se resultados visualmente satisfatórios até uma taxa de simplificação de vértices/faces para os 25% relativamente ao modelo original. A única exceção consistiu no modelo *Kima*, no qual a taxa de simplificação de vértices/faces rondou somente os 50% para resultados visualmente satisfatórios.

Na segunda parte da avaliação, correspondente aos resultados da aplicação de simplificação da superfície das componentes, obtiveram-se resultados visualmente satisfatórios até uma taxa de simplificação de vértices/faces para os 50%, utilizando os modelos originais (sem componentes eliminados).

A combinação destas duas estratégias de simplificação permite, em média, obter resultados visualmente satisfatórios até à média de detalhe da taxa de simplificação de vértices/faces para os 12.5% relativamente ao modelo original.

Capítulo VI

6. Conclusões

Os objectivos do trabalho descrito nesta dissertação consistiram:

- Em primeiro lugar, desenvolver metodologias para a conversão automática dos modelos 3D altamente detalhados do mobiliário desenvolvidos em sistemas CAD (modelos de produção), para modelos consideravelmente mais simples para que possam ser facilmente manipulados e visualizados, em tempo real, em aplicações de visualização 3D, com a finalidade de serem utilizados nas áreas de *marketing* (modelos de apresentação):
- Em segundo lugar, visualizar, com diferentes parametrizações realizadas de forma expedita, os modelos de apresentação, em ambiente de aplicação adequada;
- Em terceiro lugar, converter, automática ou semi-automaticamente, os modelos de apresentação modificados para os modelos de produção.

No tocante à simplificação dos modelos 3D, pode afirmar-se que o objectivo foi atingido, uma vez que os resultados obtidos podem ser classificados como plenamente satisfatórios.

A parametrização dos modelos 3D foi implementada somente com parâmetros dimensionais. No entanto, estes parâmetros são considerados como os mais importantes e, habitualmente, os mais utilizados. Assim sendo, pode considerar-se que este objectivo também foi atingido, existindo, porém, algum trabalho futuro a ser desenvolvido, nomeadamente no que respeita à inclusão de parâmetros não dimensionais e na criação de planos de corte que não sejam obrigatoriamente paralelos ou coplanares com os planos ordenados.

A conversão automática dos modelos de apresentação modificados para os modelos de produção não foi implementada. Alternativamente, como solução temporária, são gerados com detalhe, sobre o modelo de produção, relatórios de alterações em condições de serem enviados aos desenhadores para que estes possam efectuar as respectivas alterações. O principal foco de trabalho futuro incidirá, muito provavelmente, na conclusão deste objectivo.

Referências Bibliográficas

- [Alvito08]** Pedro Alvito; *Viver o Passado: Modelos tridimensionais e realidade virtual como ferramentas de apoio à Arqueologia e à Reconstrução do Património. O caso de estudo da villa romana do Casal de Freiria*. Dissertação do Grau de Mestre em Arquitectura. Universidade Técnica de Lisboa, 2008.
- [Avila03]** Avila; L. *Model. VTK User's Guide – Install, Use and Extend The Visualization Toolkit*, 2.ed. New Jersey, 2003. 324p.
- [Botsh03]** Mario Botsch, Leif Kobbelt; *Multiresolution Surface Representation Based on Displacement Volumes*. In Proceedings of Siggraph, pp.483-491, 2003.
- [Casacurta99]** Casacurta, Alexandre ;*Modelagem geométrica*. São Leopoldo, 1999.
- [Cignoni98a]** P. Cignoni, C. Montani, e R. Scopigno; *A comparison of mesh simplification algorithms*. Computer and Graphics, 22(1):37-54, 1998.
- [Cohen00]** Cohen, Jonathan D.; *Concepts and Algorithms for Polygonal Simplification, siggraph 99 Course Tutorial #20: Interactive Walkthroughs of Large Geometric Datasets*. Pp. C1-C34. 1999. Also in SIGGRAPH 2000 Course Tutorial.
- [Corseuil03]** Corseuil, E. T. L., raposo, A. B., santos, I. H. F., Gattass, M., Pinto, M. H. G.; *Buscando o Uso Operacional de Realidade Virtual em Grandes Modelos de Engenharia*. VI Symposium on Virtual Reality - SVR 2003, p.187-198. Ribeirão Preto, SP, Brazil. 2003.
- [Eck95]** M. Eck et al.; *Multiresolution Analysis of Arbitrary Meshes*. Computer Graphics Proc. Siggraph 95, vol. 29, ACM Press, New York, 1995, pp. 173-182.
- [Figueiras87]** Figueiras, Lúcia Vilela Leite; *Fundamentos de Computação Gráfica*. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1987.
- [Foley95]** Foley, J., van Dam, A., Feiner, S., and Hughes, J., Philips Richard L.; *Introduction to Computer Graphics*. Addison-Wesley Publishing Company, 1995, ISBN: 0-201-60921-5.

- [FrMa90]** Freeman/Benson B.N, Maloney J., Borning A. *An Incremental Constrain Solver Communications of the ACM*. Vol 33, Jan 1990.
- [Garland99]** M. Garland; *Multiresolution Modeling: Survey and future opportunities*. In Eurographics State-of-Art Reports, 1999.
- [Green&Sun95]** Green, M., Sun, H.; *Computer Graphics Modeling for Virtual Environments. In Virtual Environments and Advanced Interface Design (Ed. By Barfield, W. and Furness, T.A.)*, pp 63-101, Oxford University Press, New York, 1995.
- [He95]** T. He et al.; *Voxel-Based Object Simplification*. Proc. Visualization 95, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 1995, pp. 296-303.
- [Hoffmann89]** Hoffman, Christoph M.; *Geometric & Solid Modeling, An Introduction*. Morgan Kaufmann Publishers, Inc, 1989.
- [Hoppe96]** H. Hoppe; *Progressive Meshes*. In *Proceedings of Siggraph*, pp.99-108, 1996.
- [Kerry97]** Kerry, H. T.; *Planejamento de processo automático para peças paramétricas*. 1997. Dissertação de Mestrado – Escola de engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- [kobbelt00]** Leif Kobbelt, Thilo Bareuther and Hans-Peter Seidel; *Multiresolution Shape Deformations for Meshes with Dynamic Vertex Connectivity*. In *Proceedings of Eurographics*, pp. C249-C260, 2000
- [kobbelt99]** Leif Kobbelt, Jens Vorsatz and Hans-Peter Seidel; *Multiresolution hierarchies on unstructured triangle meshes*. *Computational Geometry Journal: Theory and Applications*, Vol 14, pp.5-24, 1999.
- [Losa94]** Losa, José Miguel; *Modelação Tridimensional com Restrições Geométricas*. Dissertação de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1994.
- [Low97]** K-L. Low and T.S. Tan; *Model Simplification Using Vertex Clustering*. Proc. 1997 Symp. Interactive 3D Graphics, ACM Press, New York, 1997, pp. 75-82.
- [Luebke01]** Luebke, David; *A developer's survey of polygonal simplification algorithms*. IEEE,

Computer Graphics and Applications, May/June 2001.

[Luebke03] Luebke, D., Reddy, M., Cohen, J. D., Varshney, A., Watson, B. e Huebner, R.; *Level of Detail for 3D Graphics*. Morgan Kaufmann, San Francisco, Estados Unidos, 2003.

[Mäntylä88] M. Mäntylä; *An Introduction to Solid Modeling*. Computer Science Press, 1988.

[McGraw-Hill02] McGraw-Hill; *Concise Encyclopedia of Engineering*. The McGraw-Hill Companies, Inc, 2002.

[Puppo97] E. Puppo e R. Scopigno; *Simplification, LOD and multiresolution – principles and applications*. Eurographics Tutorial Notes, 1997.

[REQUICHA 80] Requicha; A. A. G. *Representations for rigid solids: theory, methods, and systems*. ACM Computing Surveys (December 1980).

[Rodrigues07] R. S. R. Rodrigues; Morgado, J.; Silva, F. S.; Gomes, A.; *Esquema Multiresolução para Aplicações Geométricas em Tempo Real*. Encontro Português de Computação Gráfica, pp.117-124, 2007.

[Rossignac&Borrel93] Rossignac, J., & Borrel, P. 1993 (june); *Multi-resolution 3D approximation for rendering complex scenes*. Pages 453–465 of: Second conference on geometric modeling in computer graphics. Genova, Italy.

[Rossignac93] J. Rossignac and P. Borrel; *Multi-Resolution 3D Approximations for Rendering Complex Scenes, Geometric Modeling in Computer Graphics*. Springer-Verlag, Berlin, 1993, pp. 455-465.

[Schroeder92] W. Schroeder, J. Zarge, and W. Lorensen; *Decimation of Triangle Meshes*. Computer Graphics (Proc. Siggraph 92), vol. 26, ACM Press, New York, 1992, pp. 65-70.

[Silva05a] Silva, F. S.; *Malhas Poligonais Multiresolução*. Encontro Português de Computação Gráfica – EPCG, Vila Real, Portugal, pp.173-178, 2005.

[Silva05b] F. S. Silva; *Estruturas Poligonais Deformáveis com Resolução Variável*. Dissertação de doutoramento em Engenharia de Informática. Universidade da Beira Interior, 2005.

[Sorkinet04] Olga Sorkine, Daniel Cohen-Or, Yaron Lipman, Marc Alexa, Christian Rossl and

Hans-Peter Seidel; *Laplacian Surface Editing*. In *Proceedings of EG Symposium on Geometry Processing*, pp.179-188, 2004.

[Speck01] Speck, H. J; *Avaliação Comparativa das Metodologias Utilizadas em Programas de Modelagem Sólida*. Dissertação (Mestrado em engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis; 2001.

[Struik87] *Struik, D. ; História Concisa das Matemáticas*. Tradução de João Cosme Santos Guerreiro. Lisboa: Gradiva, 1987.

[Suzuki00] H. Suzuki, Y. Sakurai, T. Kanai, F. Kimura; *Interactive Mesh Dragging with an Adaptive Remeshing Technique*, *The Visual Computer*. Vol.16, no.3/4, pp.159-176, 2000.

[Zorin97] D. Zorin, P. Schroder, and W. Sweldens; *Interactive Multiresolution Mesh Editing*. Computer Graphics. In *Proceedings of Siggraph*, pp.259-268, 1997.

Webgrafia

[http3DRunway] Site oficial optitex 3D Runway Design® (versão 6).

http://www.optitex.com/en/products/3DRunway_Tools/3d_Runway_Designer

[http3DS] 3DS MAX 2009 Reference On-line Guide (*help*).

[http3DSMAX] Site oficial 3DS MAX® (versão 2009). Autodesk.

<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?id=5659302&siteID=123112>

[http3DSMAX] Site oficial Autodesk 3DS MAX® (versão 2010).

<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?id=5659302&siteID=123112>

[http3DSMaya] Site oficial Autodesk Maya® (versão 2010).

<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=13577897&siteID=123112>

[httpAutocad] Site oficial Autodesk Autocad® (versão 2010).

<http://www.autodesk.pt/adsk/servlet/index?siteID=459664&id=12306811>

[httpAutoFurniture] Site oficial Auto - Furniture®.

<http://www.furnituresoft-software.com/auto.htm>

[httpBlender] Site oficial Blender ® (Blender 2.49b).

<http://www.blender.org/>

[httpBryce] Site oficial Bryce® (versão 6).

<http://www.daz3d.com/i.x/software/bryce/>

[httpFamo] Site oficial FAMO ®

<http://www.famo.pt/>

[httpIBD] Institute für Betriebs-und Dialogsysteme. Dialogsysteme und graphische Datenverarbeitung.

<http://i31www.ira.uka.de/projekte/bibfiction/oldversion/making_of_maxscript_e.html>

[httpIkea] Site oficial IKEA Home Planner

http://www.ikea.com/ms/pt_PT/rooms_ideas/splashplanners.html

[httpInventor] Site oficial Autodesk Inventor ® (versão 2010).

<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=13717655&siteID=123112>

[httpMicrograf]

<http://www.micrograf.pt/MCAD/inventor/features.asp>

[httpMIT] MIT. Technology Enabled Active Learning. About Visualization with 3ds max and MAXScript.

<<http://icampus.mit.edu/teal/content/?MAXScript>>

[httpNavigram] Site oficial Navigram

<http://www.navigram.com/index.php?page=about&lang=en>

[httpPoser] Site oficial Poser® (versão 8).

<http://store.smithmicro.com/ProductDetails.aspx?pid=10430>

[httpRevitArchitecture] Site oficial Autodesk® Revit® Architecture (versão 2010)

<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=3781831&siteID=123112>

[httpSolidWorks] Site oficial SolidWorks® (versão 2010).

<http://www.solidworks.com/>

ANEXOS

Anexo I

O anexo reúne os resultados obtidos da secretária *Ekeno* e do Bloco *Smile* quanto aos dois processos de simplificação: a eliminação de componentes visualmente pouco significativos e a simplificação geométrica da superfície dos componentes.

- **Eliminação de Componentes Visualmente pouco Significativos - Modelo *Ekeno***



(a)– Máximo Detalhe

(b) - Médio Detalhe

(c) – Mínimo Detalhe

Fig. 34 - Modelo de uma Secretária *Ekeno* a partir dos quais foram gerados modelos simplificados.

	Máximo Detalhe	Médio Detalhe	Mínimo Detalhe
Nº Faces	11332	5756	1032
	(50%)	(26%)	(5%)
Nº Vértices	14550	6260	1184
	(54%)	(23%)	(4%)
Nº de Componentes	21	20	5
	(26%)	(25%)	(6%)

Tabela 8 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes da secretaria *Ekeno* em três versões de simplificação de eliminação de componentes.

- **Eliminação de Componentes Visualmente pouco Significativos - Modelo *Smile***

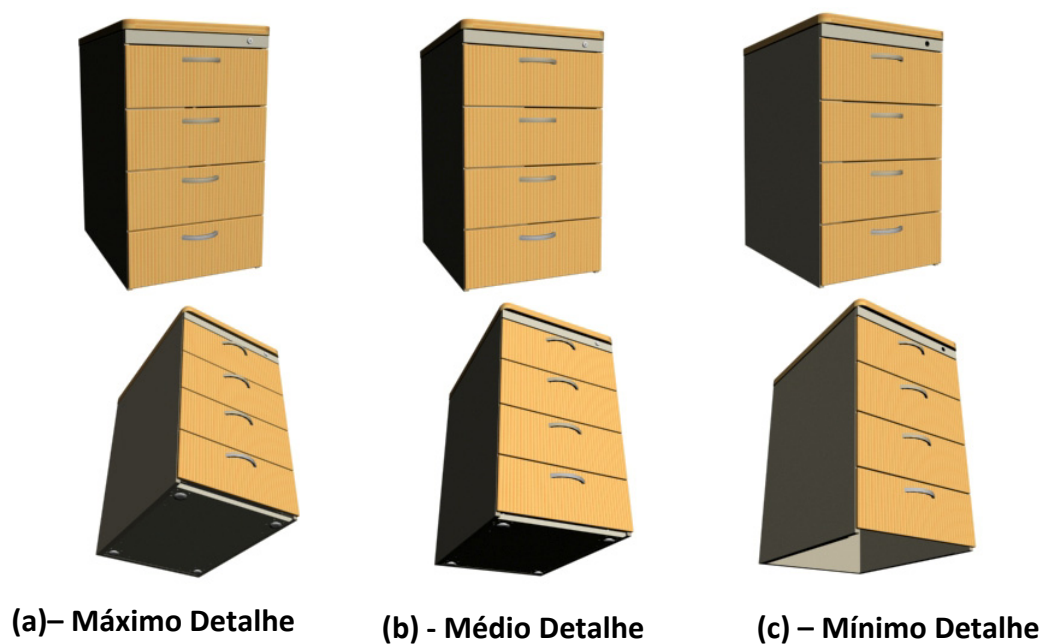


Fig. 34 - Modelo de um Bloco *Smile* a partir dos quais foram gerados modelos simplificados.

	Máximo Detalhe	Médio Detalhe	Mínimo Detalhe
Nº Faces	25154 (51%)	11220 (23%)	3372 (7%)
Vértices	30286 (51%)	13040 (22%)	3898 (7%)
Nº de Componentes	42 (36%)	25 (22%)	11 (9%)

Tabela 9 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes do Bloco *Smile* em três versões de simplificação de eliminação de componentes.

- **Simplificação da Superfície das Componentes – Modelo *Ekeno***



Fig. 36 - Versões Simplificadas para dois níveis de detalhe da secretária *Ekeno*.

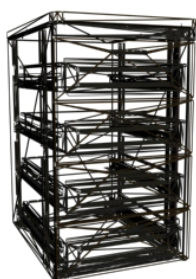
Nº de Vértices	Modelo Original	Multi-Resolução Máximo	Multi-Resolução Mínimo
Modelo Original	26810 (100%)	13407 (50%)	6705 (25%)
Eliminação Máxima	14550 (100%)	7117 (49%)	3639 (25%)
Eliminação Média	6260 (100%)	2972 (47%)	1566 (25%)
Eliminação Mínima	1184 (100%)	592 (50%)	296 (25%)

Tabela 10 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes do modelo *Ekeno* para duas versões simplificadas da superfície dos componentes (para 50% e 25 % do número original de faces).

	Modelo Original	Máximo Detalhe	Mínimo Detalhe
Nº Faces	22478	10145	5523
	(100%)	(45%)	(25%)
Nº Vértices	26810	13407	6705
	(100%)	(50%)	(25%)
Nº de Componentes	80	80	80
	(100%)	(100%)	(100%)

Tabela 11 - Comparação do nº de vértices do modelo Ekeno entre o resultado obtido das versões de simplificação por eliminação das componentes (Eliminação: Máxima Detalhe, Média Detalhe e Mínima Detalhe) e das versões de simplificação da superfície das componentes (Multi-Resolução: Máximo, Mínimo).

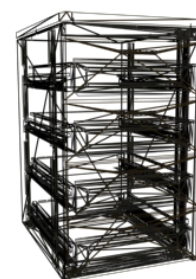
- **Simplificação da Superfície das Componentes – Modelo *Smile***



(a)– Modelo Original



(b) - Máximo Detalhe



(c) – Mínimo Detalhe

Fig. 35 - Versões Simplificadas para dois níveis de detalhe do Bloco *Smile*.

	Modelo Original	Máximo Detalhe	Mínimo Detalhe
Nº Faces	49488 (100%)	21236 (43%)	11476 (23%)
Nº Vértices	59071 (100%)	29512 (50%)	14776 (25%)
Nº de Componentes	117 (100%)	117 (100%)	117 (100%)

Tabela 12 - Comparação do nº de faces, vértices e componentes do modelo Smile para duas versões simplificadas da superfície dos componentes (para 50% e 25 % do número original de faces).

Nº de Vértices	Modelo Original	Multi-Resolução Máximo	Multi-Resolução Mínimo
Modelo Original	59071 (100%)	29512 (50%)	14776 (25%)
Eliminação Máxima	30286 (100%)	15112 (50%)	7421 (25%)
Eliminação Média	13040 (100%)	6208 (48%)	3106 (24%)
Eliminação Mínima	3898 (100%)	1948 (50%)	976 (25%)

Tabela 13 - Comparação do nº de vértices do modelo Smile entre o resultado obtido das versões de simplificação por eliminação das componentes (Eliminação: Máxima Detalhe, Média Detalhe e Mínima Detalhe) e das versões de simplificação da superfície das componentes (Multi-Resolução: Máxima, Mínima).

Anexo II

Interface e Área de Trabalho da Implementação

O principal objectivo deste anexo é disponibilizar um manual de utilização da aplicação desenvolvida, onde se descreve pormenorizadamente o funcionamento da mesma. O propósito do presente manual é facilitar ao utilizador a aprendizagem da interface gráfica da aplicação desenvolvida, possibilitando a sua utilização a utilizadores sem conhecimentos avançados na área em questão.

No início da execução do sistema de Modelação – 3DS MAX 2009, grande parte da sua interface gráfica é ocupada pelos *Viewports* (*Top*, *Front*, *Left* e *Perspective*), que são a área de trabalho propriamente dita, retratando o universo 3D. A área restante é destinada a comandos, controlos e exibição de informações (Figura 36).

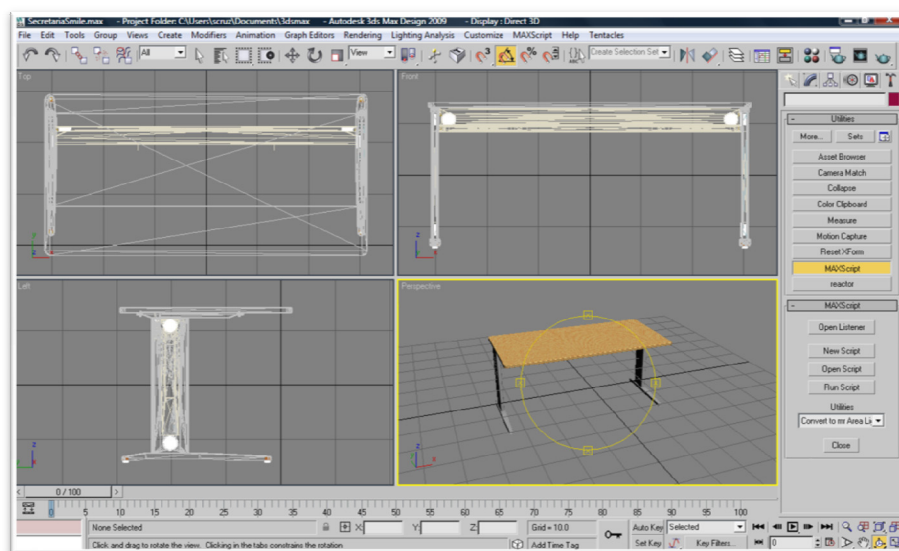


Fig. 36 - Interface do sistema de Visualização 3DS MAX.

Actualmente, as interfaces gráficas do tipo WIMPS são extremamente utilizadas pela grande maioria das aplicações. O 3DS MAX faz uso de uma diversificada interface gráfica do tipo WIMPS, que pode ser utilizada por qualquer *script*¹⁰ desenvolvido em MAXScript. Nesse sentido, o desenvolvimento prático neste trabalho faz naturalmente um uso intensivo deste tipo de interfaces com um intuito de disponibilizar, ao utilizador, um processo fácil e intuitivo de simplificação e parametrização dos modelos 3D.

A interface foi desenvolvida com o intuito de atender às necessidades específicas no domínio do mobiliário de escritório, sendo constituída por diversos mecanismos de interacção como por exemplo: janelas, painéis, botões, barra deslizantes (*sliders*), contadores (*spinner*), *radiobutton* e *checkboxbutton*. Esta interface encontra-se localizada no painel de comandos (Figura 37).

A interactividade da interface resulta de um processo de comunicação entre a aplicação e o utilizador, consistindo numa sequência do tipo acção-consequência. Desta forma, é possível ao utilizador modificar um determinado parâmetro e visualizar, de imediato, nos *viewports* do 3DS MAX, o efeito produzido no objecto seleccionado.

A seguir serão apresentados os mecanismos e as funcionalidades de interacção entre o utilizador e a aplicação da solução proposta.

Descrimina-se a seguir a solução proposta:

1. Abrir o Script.

Para abrir o script deverá proceder da seguinte forma:

- 1) Abrir o 3DS Max 2009;
- 2) Seleccionar a opção Painel de Comandos: Utilities > MAXScript > Open Script (...)

¹⁰ Um ficheiro que contém um conjunto de comandos e parâmetros escritos numa determinada linguagem de programação, geralmente interpretada, para a execução automática de tarefas.

2. Passos para executar os Scripts:

- 1) Abrir o Script
- 2) File > *Evaluate All* ou tecla de atalho (Ctrl+E).

A interface desenvolvida é constituída por um conjunto de dois grupos:

- **Simplificação** - Neste grupo, o utilizador poderá aplicar processos de eliminação de um conjunto de componentes assim como a simplificação da sua malha.
- **Parametrização** – Neste grupo, o utilizador poderá definir um conjunto de parâmetros dimensionais e respectivos planos de corte que permitem a posterior parametrização do modelo 3D.

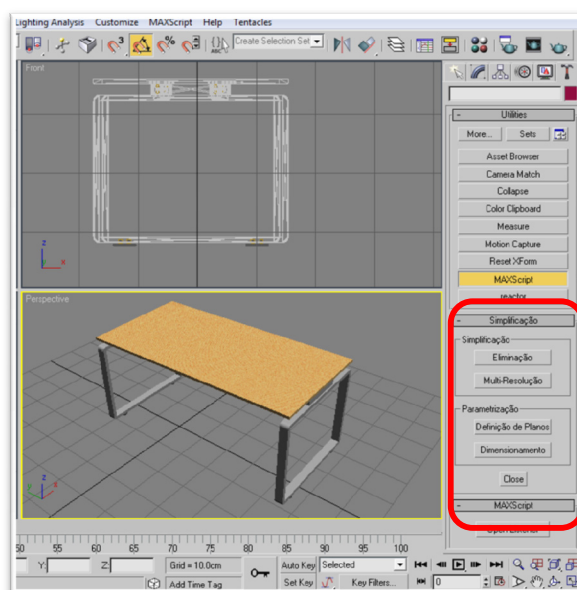


Fig. 37 - Painel de comandos da implementação proposta.

Quando se procede à colocação do ponteiro do rato sobre os botões: «**Eliminação**», «**Multi-Resolução**», «**Definição de Planos**» e «**Dimensionamento**», permitem aceder a uma janela flutuante onde é possível aceder a um conjunto de opções que representam o ambiente de trabalho ao utilizador. As janelas flutuantes consistem em janelas de posicio-

namento livre e que se encontram numa camada superior relativamente ao restante interface. As janelas, criadas no contexto deste trabalho, são constituídas por um conjunto de parâmetros sensíveis à selecção de determinados elementos do painel de comandos, ou seja, a selecção de um dos botões implica a redefinição parcial do conteúdo das janelas flutuantes (Figura 38).

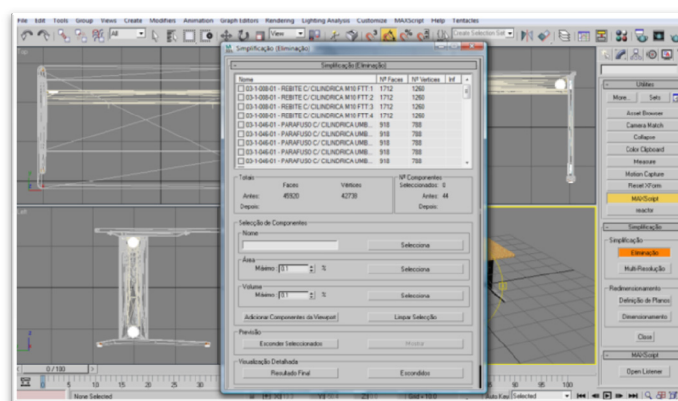


Fig. 38 - Janela Flutuante - Eliminação.

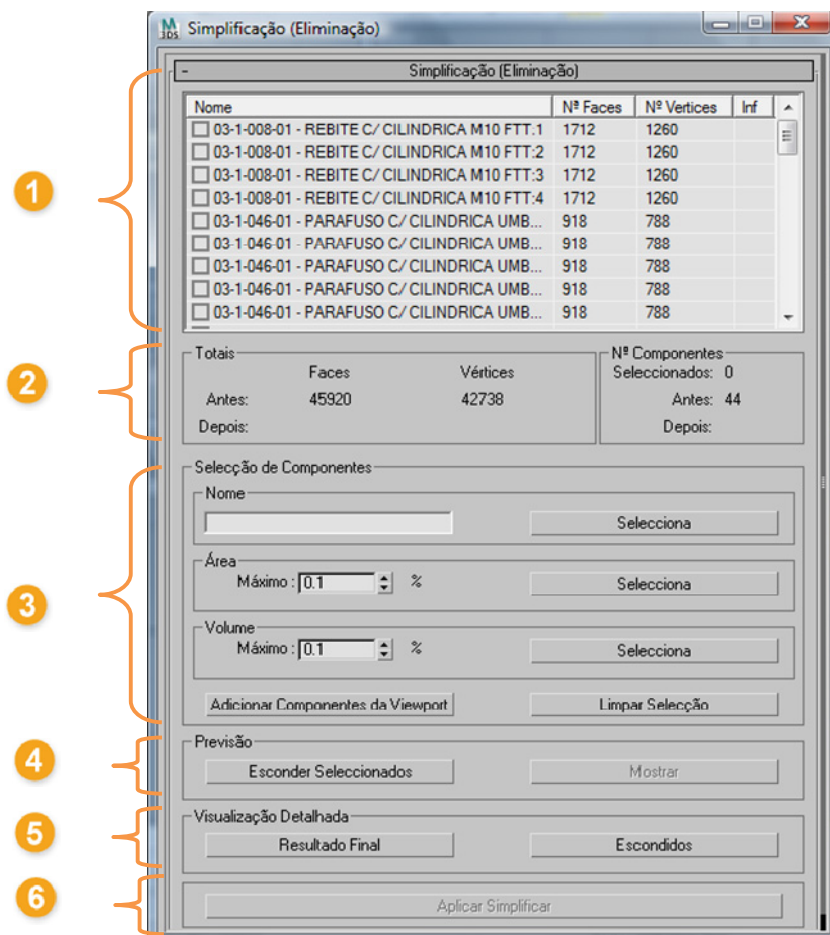
De referir, que os parâmetros disponibilizados pelas janelas flutuantes permitem ao utilizador manipular directamente os objectos presentes numa janela de visualização.

Será efectuada uma breve descrição dos comandos disponibilizados para cada janela flutuante que respectivamente é despoletada quando é pressionado o respectivo botão.

Representação Gráfica da Janela Flutuante: Simplificação - Eliminação

A janela referente à simplificação por eliminação inclui comandos para a eliminação de componentes visualmente pouco significativos que constitui o modelo 3D. A aplicação de um processo de simplificação por eliminação de componentes adequado possibilita a obtenção de modelos mais leves sob o ponto de vista de memória de computador necessária para armazená-lo. O processo é realizado através da gestão e edição de um mecanismo de filtragem de informação. Os comandos relacionados com um processo de filtragem de

informação encontram-se disponíveis através do botão «**Eliminação**» do grupo de simplificação que despoleta a seguinte janela flutuante:



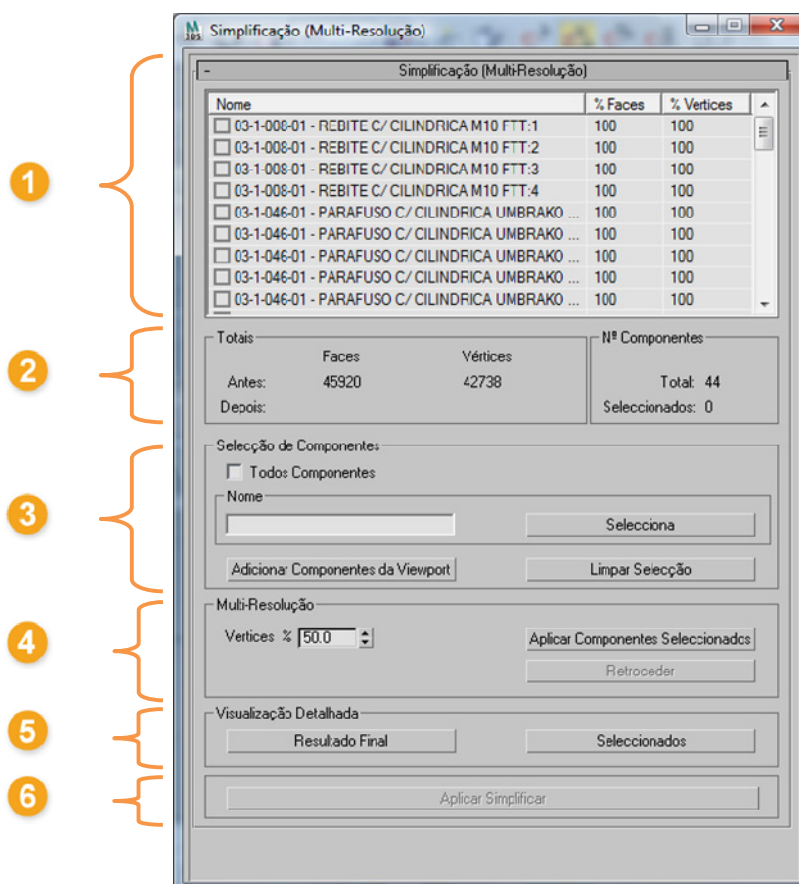
1	Contém uma lista de todos componentes, identificados pelos seus nomes, que compõem o modelo 3D. Também apresenta Informações sobre o número de vértices e faces que constitui cada componente.
2	Área de informação que indica a quantidade total de faces e vértices que constitui o modelo 3D e o número de componentes seleccionados.
3	Antes de realizar qualquer transformação ou modificação, é necessário seleccionar um ou mais componentes, para estes possam ser transformados ou eliminados. A aplicação do processo de eliminação de componentes poderá ser efectuada através de diferentes processos:

	<ul style="list-style-type: none"> - posicionamento com o ponteiro do rato nas <i>checkbox</i> da lista dos componentes, - selecção de componentes por nome, por área, por volume e por selecção de componentes através das janelas de visualização. <p>A selecção por nome é efectuada através dos nomes dos componentes. Escrevendo o nome do componente ou componentes pretendidos, no campo designado por «Nome», são seleccionados todos os componentes que contêm a palavra digitada.</p> <p>A selecção de componentes por área ou por volume é desencadeada através do valor introduzido pelo utilizador no <i>spinner</i>. Automaticamente todos os componentes que estão dentro desse limite são seleccionados. Adicionalmente, pode-se acrescentar à lista, os componentes seleccionados a partir da janela de visualização, pressionando no botão «Adicionar Componentes da Viewport», em seguida seleccionar os componentes, com o auxílio do rato.</p> <p>O botão «Limpar» retira a selecção de todos os componentes.</p>
4	<p>Antes de aplicar a eliminação definitiva dos componentes é possível pré-visualizar o resultado final, quando se activa o botão «Esconder Seleccionados», os objectos ficam invisíveis e tem um reflexo imediato nas janelas de visualização. Adicionalmente, é possível obter informação sobre o número de faces, vértices e o número de componentes antes e depois do processo de aplicação da simplificação por eliminação (grupo 2). Igualmente, é possível identificar quais os componentes a serem eliminados pela indicação da letra «E» na coluna «Inf» da respectiva lista (grupo 1).</p> <p>O botão «Mostrar» anula o passo anterior, mostra os componentes escondidos.</p>
5	<p>Permite ao utilizar optar por visualizar componentes que vão ser eliminados (activa-se a opção «Escondidos») ou o modelo 3D simplificado (activa-se a opção «Resultado Final»), recorrendo a síntese de imagem disponibilizadas pelo sistema 3D.</p>
6	<p>Permite aplicar definitivamente o processo de simplificação de eliminação aos componentes seleccionados na lista.</p>

Representação Gráfica da Janela Flutuante: Simplificação - Multi-Resolução

A janela referente à simplificação por Multi-Resolução inclui comandos para a alteração ao nível da malha dos componentes que compõe o modelo 3D. Permite reduzir o número das faces em termos de percentagem do número total de vértices, mantendo uma qualidade considerável em visualização realista.

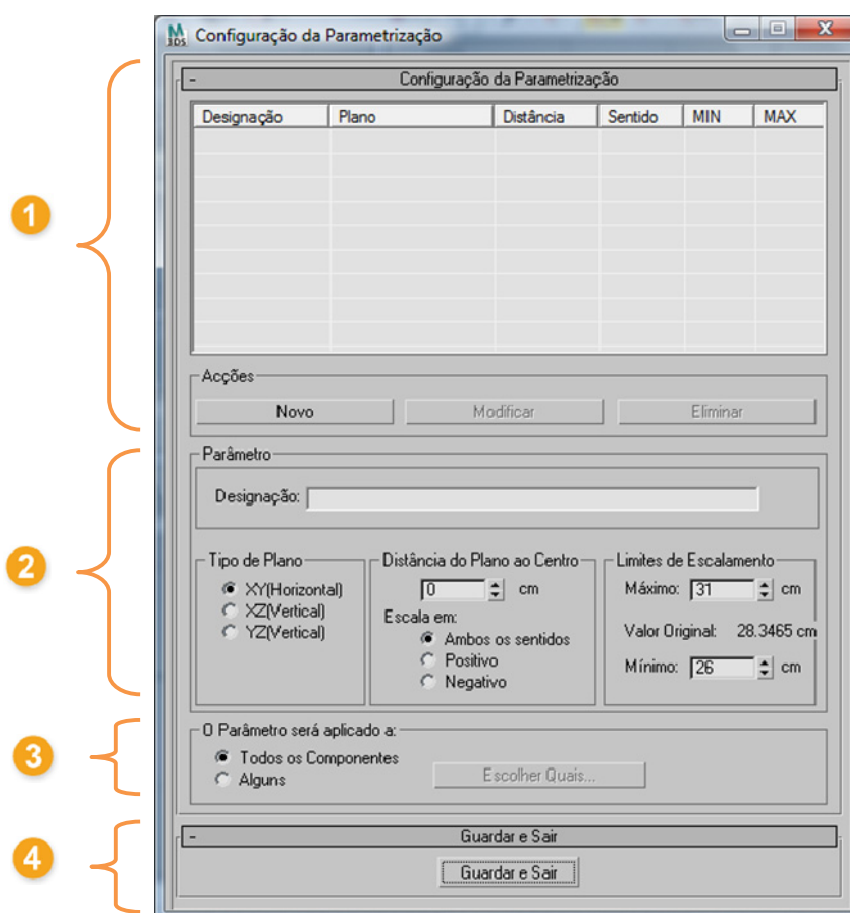
A interface da simplificação Multi-Resolução (encontra-se disponível através do botão «Multi-Resolução»), é muito semelhante à anterior, é constituída por uma lista de componentes que compõem a janela de visualização e que se define por seis grupos:



1	<p>Contém uma lista de componentes, através dos seus nomes, que compõem o modelo 3D. Apresenta informações sobre uma percentagem do número original de vértices e faces que constitui cada componente.</p>
2	<p>Área de informação que indica a quantidade total de faces, vértices e o número de componentes seleccionados que constitui o modelo 3D, antes e depois da simplificação a partir da aplicação do modificador Multi-Resolução no grupo 4.</p>
3	<p>Antes de efectuar a aplicação da malha poligonal é necessário seleccionar um ou mais componentes. O utilizador poderá seleccionar os componentes através das seguintes formas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - posicionamento com o ponteiro do rato nas <i>checkbox</i> da lista dos componentes, - activar a opção para seleccionar automaticamente «Todos os Componentes», - seleccionar por nome, através da digitação no campo especificado, - posicionamento com o ponteiro do rato nas <i>viewports</i>. <p>O botão «Limpar Selecção» retira a selecção de todos os componentes.</p>
4	<p>Neste Grupo «Multi-Resolução», o número de vértices do modelo 3D é realizado a partir de uma percentagem do número original «Vértices %». O número de faces e vértices com a aplicação do modificador é indicado em «%Faces» e «%Vértices» na lista (grupo 1).</p> <p>O botão «Aplicar Componentes Seleccionados» aplica as alterações dos parâmetros aos componentes seleccionados do modelo 3D. O botão «Retroceder» anula a redução feita.</p>
5	<p>Permite ao utilizador optar por visualizar os componentes que vão ser simplificados (activa-se a opção «Seleccionados») ou o modelo 3D simplificado (activa-se a opção «Resultado Final»), recorrendo a síntese de imagem disponibilizadas pelo sistema 3D.</p>
6	<p>Permite aplicar definitivamente o processo de simplificação de malha aos componentes seleccionados na lista.</p>

Representação Gráfica da Janela Flutuante: Parametrização – Definição de Planos

A janela referente à Definição de Planos inclui comandos sobre a criação de restrições geométricas e dimensionais entre objectos que compõem o modelo 3D, de uma forma fácil e intuitiva. A criação das restrições geométricas e dimensionais é realizada pela definição e criação de planos de corte. Os comandos associados à criação dos planos encontram-se disponíveis através do botão «Definição de Planos» no grupo de Parametrização, que despoleta a seguinte janela flutuante:



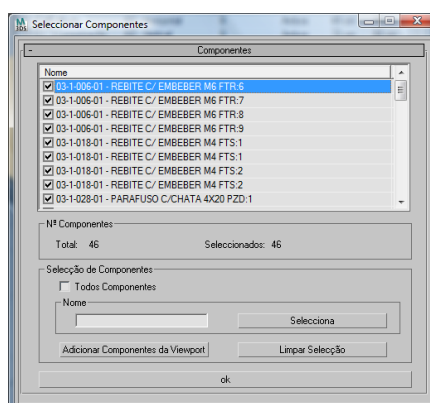
1	<p>Área responsável pela criação, modificação e eliminação de planos de cortes. Antes de proceder à criação de um plano de corte é necessário preencher os campos do grupo «Parâmetro», que será descrito a seguir. Quando se procede à colocação do ponteiro do rato sobre o botão «Novo». Este é adicionado automaticamente na lista de informação sobre os planos de corte (encontrando-se acima do grupo acções). Para alterar ou eliminar os planos definidos na lista, o utilizador tem que seleccionar com o ponteiro do rato nas <i>checkbox</i>, em seguida seleccionar o botão («Modificar» ou «Eliminar») que pretende executar. De referir, qualquer alteração efectuada exige obrigatoriedade de um clique no botão «Modificar».</p>
2	<p>O grupo «Parâmetro» possibilita ao utilizador definir um conjunto de parâmetros que compõem um plano de corte. Este grupo é caracterizado por um conjunto de características técnicas, que incluem:</p> <ul style="list-style-type: none"> - «Designação»: possibilita atribuir um nome do parâmetro associado ao Plano de Corte. No caso de o campo encontrar-se vazio, a aplicação despoleta uma janela com uma mensagem que informa o utilizador da obrigatoriedade do preenchimento do campo. - «Tipo de Plano»: permite ao utilizador seleccionar o tipo de orientação do plano que se encontra dividido em três planos: <ul style="list-style-type: none"> - XY (Horizontal) : Paralelo ao Plano XY; - XZ (Vertical) : Paralelo ao Plano XZ; - YZ (Vertical) : Paralelo ao Plano YZ. - «Distância do Plano ao Centro»: permite definir a distância (em cm) do plano ao Centro Geométrico da “Bounding Box” do conjunto de objectos. - «Escala em»: o utilizador poderá escolher o sentido de escalamento em relação ao plano de corte, que se encontra dividido em três sentidos: <ul style="list-style-type: none"> - Em ambos os sentidos; - No sentido positivo; - No sentido negativo. - «Limites de Escalamento» - informa os limites Mínimos e Máximo em centímetros do valor associado ao Parâmetro. Por defeito, o valor mínimo e Máximo são 50% e 200% do valor inicial. Para além de fornecer o «Valor Original» que consiste no valor inicial associado ao parâmetro.

O utilizador pode escolher os componentes que são ou não afectados pela mudança do parâmetro. Através da selecção do parâmetro **«Alguns»**, o utilizador poderá seleccionar os componentes através das seguintes formas:

- posicionamento com o ponteiro do rato nas *checkbox* da lista dos componentes,
- activar a opção para seleccionar automaticamente **«Todos os Componentes»**,
- seleccionar por nome, através da digitação no campo especificado,
- posicionamento com o ponteiro do rato nas *viewports*.

3

O botão **«Limpar Selecção»** retira a selecção de todos os componentes.

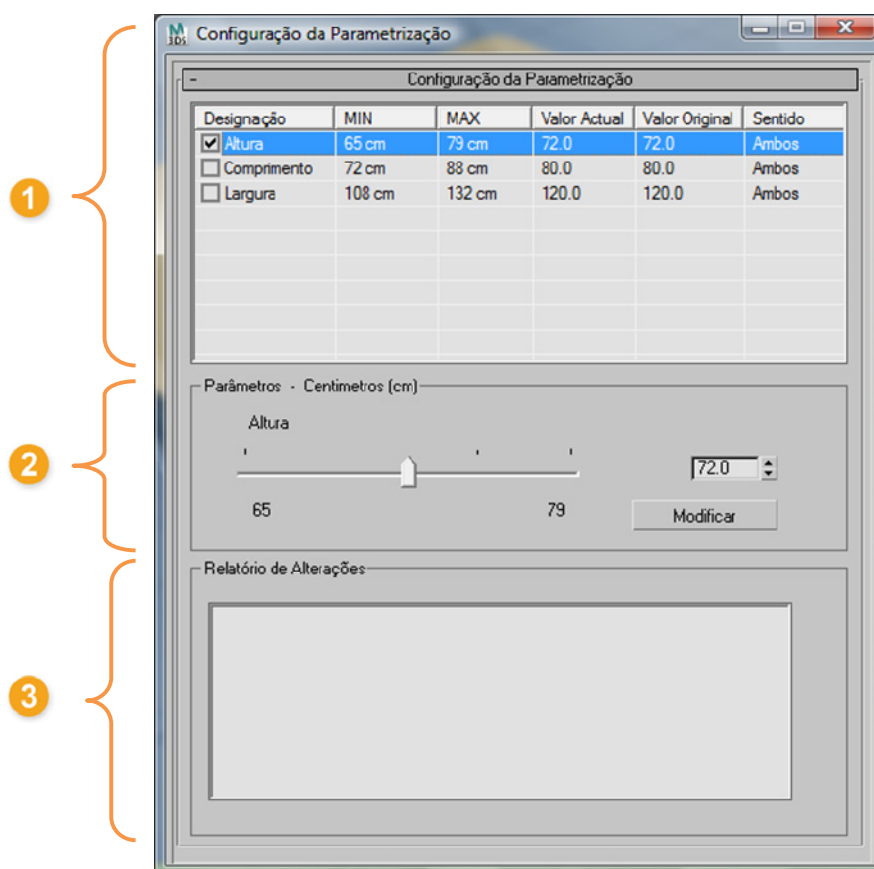


4

Ao pressionar no botão **«Guardar e Sair»**, a aplicação gera um ficheiro em formato ASCII, que armazena toda a informação relativa aos Planos de Corte/Parâmetros. A informação dos ficheiros é guardada na directoria corrente, da seguinte forma, *nomeficheiro.max.pmt*, isto é, acrescenta à extensão "PMT" à designação do ficheiro que armazena o modelo 3D. De referir, que os ficheiros só podem ser lidos e editados por esta aplicação. Esta informação é posteriormente utilizada como base para a parametrização do modelo 3D em tempo real.

Representação Gráfica da Janela Flutuante: Parametrização – Dimensionamento

Ao aceder à janela referente ao Dimensionamento, o utilizador tem uma liberdade considerável para parametrizar o modelo 3D, com o intuito de ajustar às suas necessidades específicas. De referir, que só é possível aceder à Janela flutuante Dimensionamento após a criação de um ficheiro que armazena toda a informação relativa aos Planos de Corte/Parâmetros, que consiste na concretização nos passos anteriores. No caso, do ficheiro não conter nenhum parâmetro, a aplicação despoleta uma janela com uma mensagem que informa o utilizador da obrigatoriedade da criação de pelo menos um parâmetro. Depois de terminar a operação de criação do ficheiro, é possível iniciar o processo de parametrização do objecto 3D, pressionando o botão «**Dimensionamento**» o ficheiro é lido e verificado o seu conteúdo, que despoleta a seguinte janela flutuante:



1	É constituída por um conjunto de parâmetros que podem ser seleccionados através de uma <i>checkbox</i> (posicionada na extremidade esquerda).
2	Refere-se à área de parametrização propriamente dita. Quando o utilizador selecciona na <i>checkbox</i> da lista (grupo 1), acede automaticamente aos parâmetros inerentes a esta opção e poderá ser efectuada através de um valor introduzido pelo utilizador no <i>spinner</i> e em seguida pressionar no botão « Modificar ».
3	Após cada alteração de parâmetro, é gerado automaticamente um relatório de alterações que será enviado, posteriormente, aos desenhadores para que estes possam efectuar as respectivas alterações manualmente.