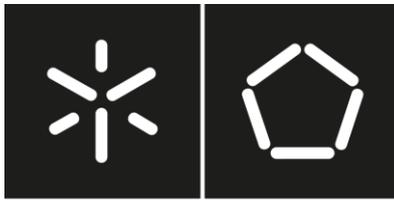


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Tiago João Neto Costa

**Aplicação de Metodologias BIM/VR no
Betão Pré-fabricado**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Tiago João Neto Costa

**Aplicação de Metodologias BIM/VR no
Betão Pré-fabricado**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor João Pedro Pereira Maia Couto

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição
CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Universidade do Minho, por possibilitar e apoiar a realização deste tipo de estudo em ambiente empresarial, permitindo assim um primeiro contacto com a realidade de trabalho.

Seguidamente, agradecer ao Grupo Shay Murtagh, que me acolheu da melhor forma, integrando-me facilmente nas suas rotinas. Apesar de ter criado boas relações com todos os colaboradores na empresa, seriam demasiados nomes a citar. Sendo assim, destacar o Eng. José Terra, pela curiosidade e apoio constante no meu trabalho e ao meu amigo e supervisor na empresa Bruno Ribeiro, pela confiança e motivação oferecida na realização de um tema tão desafiante como este. Foi ele o catalisador deste estudo.

Gostaria de agradecer também ao meu orientador, o Professor João Pedro Couto, pelo suporte e paciência demonstrada, mesmo nos períodos em que o trabalho não correspondia.

Ao meu amigo José Pedro Carvalho, pelo interesse e vontade em debater este estudo, mesmo em momentos de menor disponibilidade.

Por último, o meu maior agradecimento vai para a minha família. É este o núcleo mais forte e que nos faz seguir em frente. Se existisse uma dedicatória, seria para a minha mãe, pai e irmão.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

A história da construção começa por relatar um tempo em que tudo era construído num processo de tentativa/erro pelos *master builders*, que se baseavam no conhecimento antigo. O projeto e a edificação surgiam de acordo com as necessidades que se iam figurando. Só mais tarde surge a Arquitetura com o Renascimento e a Engenharia muito perto da Revolução Industrial, como um dos maiores catalisadores no aparecimento de novos materiais e sistemas tecnológicos. A partir desse período, pouco se alterou até à introdução dos computadores como ferramenta essencial de trabalho.

A metodologia BIM (*Building Information Modeling*) veio substituir a metodologia tradicional CAD (*Computer Aided Design*). Apesar disso, existe uma resistência enorme da indústria AEC para que esta mudança seja definitiva, como se percebe olhando para o panorama nacional. Consiste na aprendizagem de novos conceitos, renovação dos métodos de trabalho convencionais e ainda um investimento monetário acrescido em *hardware* e *software*. Resta continuar a trabalhar na otimização desta metodologia e reforçar a sua importância até ao período tão esperado da normalização.

A Realidade Virtual (RV), cujo conceito será ampliado para Realidade Virtual *continuum* (RVC), surge mais recentemente por intermédio dos videojogos, mas rapidamente se percebe que o seu potencial poderá abrir portas a novas indústrias. Trata-se da criação de um produto que apresenta o resultado final antes do mesmo estar concluído na realidade, à semelhança da modelação 3D e *software* BIM, mas com a particularidade de atribuir, a qualquer componente do modelo, propriedades e comportamentos reais. Para além disso, através do seu *hardware* é permitido a imersão e a interação com o meio virtual, que acrescentam a sensação de presença, nunca possível até então.

Deste modo, são realizadas aplicações (APK – *Android Package*) em Realidade Aumentada (RA) e em RV, com o modo de visualização pensado apenas para dispositivos móveis (*tablets* ou *smartphones*), devido às limitações intrínsecas neste trabalho. Com estas pretende-se demonstrar a aplicabilidade da RVC no contexto do Grupo Shay Murtagh, uma empresa que atua no ramo do betão pré-fabricado. Para sustentar a introdução desta metodologia no grupo, foi elaborado um processo de implementação hipotético com questionários remetidos aos colaboradores do setor de projeto e um mapa de processos.

Palavras-Chave: *Android Package* (APK), BIM, Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV), Realidade Virtual *Continuum* (RVC).

ABSTRACT

The History of construction begins by speaking of a time when everything was built on a trial and error basis by master builders that based themselves on old knowledge. Projects and buildings would appear in accordance with needs that would make themselves apparent. Only later does Architecture appear, with the Renaissance, and also with Engineering, closer to the Industrial Revolution, as one of the largest catalysts for the appearance of new materials and new technological systems. From that period onwards, little has changed until the introduction of computers as an essential working tool.

BIM methodology has replaced the traditional CAD methodology. Despite that, there is an enormous resistance from the AEC industry to making this change definitive, as one can understand by looking at the national panorama. It consists on the learning of new concepts, on the renewal of conventional working methods, and still on an added monetary investment on hardware and software. Works remains to be done on the optimisation of this methodology and on reinforcing its importance, until the expected period of its normalisation.

Virtual reality, a concept which will be extended on the current work-s discussion to Virtual Reality Continuum, appears more recently by means of videogames. However, one quickly understands its potential to open doors to new industries. It is about the creation of a product that can present the final result before it is concluded in reality - similarly to 3D modelling and BIM software - but with the particularity of attributing real behaviours to any of the component's elements. Beyond that, through its hardware, it enables immersion and interaction with the virtual medium, which adds a feeling of presence, something previously not possible.

In this way, some applications are made (APK - Android Package) in AR and VR - only with mobile visualisation methods - due to this work's intrinsic limitations. They intend to demonstrate the applicability of VRC in the context of the Shay Murtagh group, a company that operates in the field of pre-fabricated concrete. In order to sustain the introduction of this methodology into the group, an hypothetic implementation process has been developed, with questionnaires being sent to collaborators in the project sector, and a process map.

KEYWORDS: Android Package (APK), Augmented Reality (AR), BIM, Virtual Reality (VR), Virtual Reality *Continuum* (VRC).

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento geral	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Estruturação da dissertação	3
2.	REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1	Enquadramento histórico	4
2.1.1	Contextualização histórica da construção	4
2.1.2	O setor construtivo até ao aparecimento das novas tecnologias	5
2.1.3	Edifício virtual	7
2.2	Building Information Modeling	8
2.2.1	Conceito	8
2.2.2	O processo colaborativo BIM	11
2.2.2.1	Ferramentas e processo BIM	15
2.2.3	Potenciais aplicações e entraves	18
2.2.3.1	Funcionalidades e potencialidades do BIM	20
2.2.3.2	Principais barreiras à implementação do BIM:	22
2.2.4	BIM no betão pré-fabricado	24
2.2.4.1	O betão pré-fabricado na vida das empresas	25
2.2.4.2	Vantagens para os pré-fabricadores (<i>precasters</i>)	28
2.2.5	BIM em Portugal	29
2.3	Da realidade à virtualidade	30
2.3.1	<i>Continuum</i>	30
2.3.2	Cronologia	31
2.3.3	Realidade Virtual	36
2.3.3.1	Definição do conceito	36
2.3.3.2	Benefícios da Realidade Virtual Continuum	38

2.3.4	Realidade Aumentada	39
2.3.4.1	Definição do conceito.....	39
2.3.4.2	Benefícios da Realidade Aumentada.....	40
2.3.5	<i>Hardware e software</i>	41
2.3.5.1	Hardware.....	41
2.3.5.2	Software	47
2.4	BIM e Realidade Virtual <i>Continuum</i>	53
3.	METODOLOGIA	57
3.1	Desenvolvimento das aplicações	57
3.1.1	APK em Realidade Aumentada.....	57
3.1.2	APK em Realidade Virtual	58
3.2	Processo de implementação em empresa	59
3.2.1	Considerações gerais.....	59
3.2.2	Aplicação ao caso de estudo	60
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1	Processo de implementação	63
4.1.1	Exploração	63
4.1.2	Instalação.....	75
4.1.3	Implementação Inicial.....	77
4.1.4	Implementação Total	80
4.1.5	Expansão	81
4.2	Aplicações em Realidade Aumentada	82
4.2.1	Processo	82
4.2.1.1	APK.1 - Versão teste	83
4.2.1.2	APK.2 – Versão teste com C#	86
4.2.1.3	APK.3 – Sequência de montagem em obra	90
4.3	Aplicações em Realidade Virtual	96
4.3.1	Processo	96

5. CONCLUSÕES	104
BIBLIOGRAFIA	106
ANEXO I – QUESTIONÁRIOS ELABORADOS NO GRUPO SHAY MURTAGH.....	109
ANEXO II – MAPA DE PROCESSOS	115
ANEXO III – IMAGENS ALVO UTILIZADAS NAS APK.....	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Curva de MacLeamy, (Crotty Ray, 2012)	9
Figura 2 - Cronologia das Metodologias AEC, (Venâncio, 2015)	10
Figura 3 - Metodologia Tradicional, Adaptado de (Thomassen, 2011)	12
Figura 4 - Metodologia Tradicional Colaborativa, adaptado de (Wilkinson, 2012)	13
Figura 5 - Metodologia Colaborativa BIM, adaptado de (Thomassen, 2011)	14
Figura 6 - Metodologia BIM, adaptado de (Wilkinson, 2012)	14
Figura 7 - Ferramentas de Aplicação BIM na Indústria AEC (Crotty Ray, 2012)	17
Figura 8 - Usos do BIM, adaptado de (Azhar, 2011; Kreider & Messner, 2013).....	20
Figura 9 - Fluxo de Interoperabilidade, adaptado de (Jönsson, 2015; Thomassen, 2011)	21
Figura 10 - Balanço do Investimento BIM, adaptado de (Salih, 2012)	23
Figura 11 - setor de produção do Grupo Shay Murtagh, peças de betão pré-fabricado.....	25
Figura 12 - Exemplo de um PDT (Vidal, 2017).....	26
Figura 13 - Bibliotecas BIM (Vidal, 2017)	27
Figura 14 - Adaptado de Reality-Virtuality Continuum (Milgram et al., 1994).....	31
Figura 15 - Cubo de Zeltzer (Mazuryk & Gervautz, 1991)	36
Figura 16 - Realidade Aumentada: Visualização com Tablet.....	39
Figura 17 - Sistema de Realidade Virtual continuum, adaptado de (Bamodu & Ye, 2013)	41
Figura 18 - Software RV e RA no futuro (Felix Richter, 2016)	49
Figura 19 - Distribuição de Publicações de Sistemas de RV ao longo dos anos (P. Wang et al., 2018)	54
Figura 20 - Transferência tradicional de um modelo entre um software de modelação 3D e o Unity, (Edward Martin, 2018)	56
Figura 21 - Esquema de conceção das APK. em RA	58
Figura 22 - Esquema da conceção da Apk. em RV.....	59
Figura 23 - Fases do Processo de Implementação.....	61
Figura 24 - Questionário RV/BIM	64
Figura 25 - Questionário RV/BIM - Pergunta 1	65
Figura 26 - Questionário RV/BIM - Pergunta 2.....	65
Figura 27 - Questionário RV/BIM - Pergunta 3.....	66
Figura 28 - Questionário RV/BIM - Pergunta 4.....	67
Figura 29 - Questionário RV/BIM - Pergunta 5.....	67
Figura 30 - Questionário RV/BIM - Pergunta 7	69

Figura 31 - Questionário RV/BIM - Pergunta 8.....	69
Figura 32 - Questionário RV/BIM - Pergunta 9.....	70
Figura 33 - Questionário RV/BIM - Pergunta 10.....	70
Figura 34 - Questionário RV/BIM - Pergunta 11.....	71
Figura 35 - Questionário RV/BIM - Pergunta 12.....	72
Figura 36 - Questionário RV/BIM - Pergunta 13.....	73
Figura 37 - Questionário RV/BIM - Pergunta 14.....	73
Figura 38 - Questionário RV/BIM - Pergunta 15.....	74
Figura 39 - Questionário RV/BIM - Pergunta 16.....	75
Figura 40 - Mapa de Processos.....	78
Figura 41 - Modelo de uma peça de betão pré-fabricado em RA, visualização via tablet da APK.1.	83
Figura 42 - Vuforia Database, classificações dos alvos.....	84
Figura 43 - Imagem alvo importada no software Unity	85
Figura 44 - Modelo de uma peça de betão pré-fabricado em RA, visualização via tablet da APK.2.	86
Figura 45 - processo de leitura de um QR Code como auxiliar para a RA	87
Figura 46 - Exemplo de um script	88
Figura 47 - Script desenvolvido para o botão interativo "Rotate" em C#	89
Figura 48 - APK.3 via smartphone.....	90
Figura 49 - Botões interativos da APK.3	91
Figura 50 - Script desenvolvido para os botões interativos em C#.....	92
Figura 51 - Animation APK.3.....	93
Figura 52 - APK.3 em execução, pilares	93
Figura 53 - APK.3 em execução, painéis	94
Figura 54 - APK.3 em execução, resultado final.....	95
Figura 55 - APK.RV.....	97
Figura 56 - APK.RV, divisão do modelo.....	98
Figura 57 - APK.RV, Autodesk Infraworks	99
Figura 58 - APK.RV – Monorail e elementos estruturais	100
Figura 59 - Monorail no local da obra.....	100
Figura 60 - APK RV, vista da piscina.....	101
Figura 61 – APK.RV final	102
Figura 62 - Mapa de Processos.....	115

Figura 63 - Imagem alvo APK.1.....	116
Figura 64 - Imagem alvo APK.2 e APK.3	117

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

BIM – *Building Information Modeling*

RV – Realidade Virtual

RA – Realidade Aumentada

RM – Realidade Mista

RVC – Realidade Virtual *Continuum*

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

R&D – *Research and Development*

CAD – *Computer-Aided Design*

2D – 2 Dimensões

3D – 3 Dimensões

4D – 4 Dimensões

VDU – *Visual Display Unit*

IPD – *Integrated Project Delivery*

LOD – *Level of Development*

IFC – *Industry Foundation Classes*

MEP – *Mechanical, Electrical and Plumbing*

API – *Application Programming Interface*

PDT – *Product Data Template*

IPQ – Instituto Português da Qualidade

CEN/TC 442 – Comissão Técnica Europeia de Normalização BIM

PTPC – Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção

HMD – *Head Mounted Display*

CAVE – *Cave Automatic Virtual Environment*

VPL – *Visual Programming Lab*

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

GPU – *Graphics Processing Unit*

CPU – *Central Processing Unit*

RAM – *Random Access Memory*

PSU – *Power Supply Unit*

VR – *Virtual Reality*

SDK – *Software Development Kits*

C++ – linguagem de programação em C

C# – Linguagem de programação em C *Sharp*

FBX – *filmbox (.fbx)*

APK – *Android Package (.apk)*

MD – *Manufacturing Drawings*

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento geral

Esta Dissertação contempla um estudo sobre a fusão entre o *Building Information Modeling* (BIM) e a Realidade Virtual (RV), aplicada à construção e fabrico de betão pré-fabricado, com uma parceria estabelecida entre a Universidade do Minho e o Grupo Shay Murtagh.

Na interpretação do seu conceito, a RV deverá ser integrada noutra mais abrangente, assim como a Realidade Aumentada (RA), devidamente discutida neste trabalho, ou a Realidade Mista (RM). Trata-se da noção de *Continuum*, que estabelece um caminho desde a realidade até à virtualidade, colocando a RA mais próxima do extremo real e a RV do virtual. Para o efeito deste estudo, adotar-se-á o termo Realidade Virtual *Continuum* (RVC), quando se pretende referir ao conceito de RV de um modo generalizado.

Apesar de não ser uma realidade estabelecida em Portugal, o BIM faz parte do quotidiano de um grande número de empresas ligadas à indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) no panorama global. Do ponto de vista prático, esta metodologia tem muitos campos a ser explorados, mas numa vertente teórica pode ser ampliada a outros conceitos imergentes (filosofia Lean, Indústria 4.0, entre outros) que ditam as exigências da atualidade, como a otimização de recursos, redução de custos e tempo, ou a melhoria da comunicação para minimizar erros. O BIM coloca todas as equipas responsáveis de um projeto a trabalhar num modelo único, planeado para todo o ciclo de vida do edifício.

Enquadrado este estudo no Grupo Shay Murtagh, empresa Irlandesa com mercado no Reino Unido, onde esta metodologia se encontra perfeitamente implementada, permite vislumbrar outras combinações entre tecnologias como a RVC.

E se fosse possível introduzir uma nova equação, algo que faça olhar a construção com uma ambição renovada, permitindo valorizar e respeitar as suas necessidades? A aplicação de novos sistemas como o BIM e a RVC em conformidade permite transportar o mundo real que se conhece para um virtual onde o erro é admitido, com a possibilidade de o otimizar exponencialmente. É um espaço que reúne todos os intervenientes na conceção de uma obra, clarificando processos e ideias pela comodidade visual que apresenta. Melhor visualização leva a melhor aceitação.

Pretende-se com este estudo perceber até que ponto esta comunhão entre metodologias poderá trazer benefícios, para que sejam integradas naturalmente numa indústria que já funciona por si só.

1.2 Objetivos

Após um breve enquadramento das metodologias adotadas no âmbito desta dissertação, irão ser apresentadas as motivações e objetivos que levaram à sua realização.

O Grupo Shay Murtagh posiciona-se na indústria da construção como especialista em betão pré-fabricado, onde o seu processo de trabalho contempla a fase de projeto, passando pela produção até à entrega final. Como se trata de uma empresa Irlandesa que atua no mercado do Reino Unido, o uso da metodologia BIM já se encontra bem implementado nos seus projetos, sendo o cenário ideal para este estudo.

O facto do gabinete de projeto estar sediado em Viana do Castelo, permitiu que a realização deste trabalho fosse desenvolvida em ambiente empresarial, visto como um investimento no R&D (*Research and Development*) do Grupo. Trata-se do desenvolvimento de novos produtos e serviços, ou otimização dos existentes, onde assentam os pressupostos da RVC quando agregada ao BIM.

O objetivo principal passa por interpretar em que fases do projeto se pode intervir, ou por outras palavras, quais os erros que podem ser minorados com a intervenção da RVC.

Neste sentido irão se desenvolver aplicações virtuais num motor de jogo - em RA e RV - que permitam uma discussão mais eficaz entre os intervenientes da obra, colocando a comunicação como uns dos principais fatores para a existência de falhas na indústria da construção.

Apesar do estudo se realizar no setor de projeto, sabendo que a sua fase final consiste no envio dos modelos para produção em fábrica, será outro ponto a ter em atenção.

Para além disso, interessa perceber de que forma a RVC poderá ser implementada no contexto da empresa.

Este trabalho serve também como meio de divulgação do que poderá ser uma mudança de paradigma no ramo da construção, ainda pouco presente na realidade nacional, mas cada vez mais uma afirmação global devido às necessidades atuais.

1.3 Estruturação da dissertação

A estrutura desta dissertação é composta por cinco capítulos.

O primeiro corresponde à introdução, onde se insere a presente estruturação do trabalho. Neste capítulo é feito um pequeno enquadramento ao tema proposto, realçando a importância das metodologias adotadas, o BIM e a RVC. Para além disso são apresentadas as motivações que levaram à realização deste estudo e os objetivos onde se pretende intervir.

O capítulo dois assenta em quatro grupos fundamentais, que sustentam os resultados obtidos devido à sua credibilidade científica:

- Começa-se pelo enquadramento histórico que relata a evolução da construção ao longo dos anos até ao aparecimento das novas tecnologias que prometem alterar o rumo da história.
- Dado esse passo, é introduzido o BIM como a primeira metodologia de trabalho a ser estudada. Será apresentado o seu conceito e como se materializa, os benefícios e os principais entraves, o seu papel no betão pré-fabricado e a sua implementação em Portugal.
- É exposto o mundo tecnológico a partir da RVC. O enquadramento desta segunda metodologia é iniciado com uma cronologia que a situa tempo, é elucidado o seu conceito que reúne outras derivações como a Realidade Aumentada (RA), contém benefícios e limitações próprias e são dadas algumas noções sobre o *hardware* e *software* existentes.
- O capítulo encerra com a fusão entre o BIM e a RVC.

O terceiro capítulo contempla a metodologia escolhida para o desenvolvimento das aplicações virtuais, bem como, para o processo de implementação da RVC no Grupo Shay Murtagh.

O capítulo quatro, sendo aquele que poderá validar ou não o trabalho prático produzido, consiste nos resultados e respetiva discussão das aplicações desenvolvidas e a descrição do processo de implementação da RVC no contexto da empresa.

Por último, o capítulo cinco, remete para as conclusões tiradas a partir deste estudo, como secção de debate sobre o que de bem foi feito e o que poderia ser melhorado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Enquadramento histórico

2.1.1 Contextualização histórica da construção

Na idade média os *master builders* eram responsáveis por todas as fases do tempo de vida de uma construção, onde a execução da obra e o projeto da mesma caminhavam lado a lado, respondendo às necessidades um do outro. Estes tinham que assegurar que toda a obra seguia os princípios e regras da construção. Todo esse conhecimento era garantido a partir de costumes passados - vivia-se numa época de tentativa/erro onde não existia sequer o conceito de Arquitetura. Posto isto, sabe-se que a estética não ocupava um papel principal mas inevitavelmente a sua aparição seria uma questão temporária, questões e interesses irão ser levantados no mundo moderno. Chegado o Renascimento materializa-se aquilo que será um novo paradigma, a aparição de arquitetos, a afirmação da Arquitetura dividindo assim o mundo que se mantinha há séculos. Projeto e construção não existem mais num elemento único, apenas vão depender um do outro (Campos, 2002).

Tendo uma metodologia inicial questionada, um novo conceito a ser fabricado, é agora tempo de reeducar e instruir técnicos, gente capaz de lidar com um futuro em ascensão de novos materiais e sistemas que nascem com a Revolução Industrial. Surge a Engenharia e completam-se os tempos (Campos, 2002). Os *master builders* são a soma dos Engenheiros e Arquitetos de hoje em dia (Kevin L. Burr & Chad B. Jones, 2010).

No séc. XVI, o diplomata Sir Henry Wotton proferiu as seguintes palavras:

“ Um edifício deve ter estabilidade estrutural, durabilidade, deve ser funcional, garantir aos seus utilizadores um ambiente de conforto e comodidade, e ser ainda economicamente ajustado, para além de que deve ser também agradável do ponto de vista estético”.

São premissas bastante válidas, embora se encontrem por vezes ausentes numa perspetiva atual. Num mercado tão competitivo como ao que assistimos hoje em dia, o mais ínfimo pormenor pode ditar a diferença entre sucesso e o insucesso e são estes momentos que podem fazer esquecer conceitos, portanto convém otimizar a comunhão entre os vários sistemas e as infraestruturas de um edifício (Campos, 2002).

A Revolução Industrial teve enorme impacto no que diz respeito à aparição de novas questões em volta do que fazer com tantos recursos agora em mãos. Isto viria a ser esclarecido com o passar dos tempos, era uma época de investimento e crescimento global sobre uma mão cheia de tudo, onde uma boa construção continua a depender das necessidades da mesma (Campos, 2002).

Desde esse período, o ritmo manteve-se lento, em termos evolutivos na construção, até aos dias de hoje. Procurou-se aplicar os vastos sistemas e materiais aos projetos desenvolvidos em concordância com a sua infraestrutura, para que a solução global seja sustentável, sabendo que podem existir algumas limitações ao inicialmente previsto. A articulação entre Engenheiro e Arquiteto, ou questões económicas e por vezes políticas, poderão alterar o curso de toda a obra. Isto significa somente que a comunicação entre os vários intervenientes da construção ainda pode ser otimizada e é esse o caminho a seguir (Campos, 2002).

2.1.2 O setor construtivo até ao aparecimento das novas tecnologias

Houve uma grande evolução tecnológica no final do séc. XX, especialmente em plásticos e dispositivos eletrónicos. Em concordância com o que foi descrito na Contextualização Histórica da Construção, após o aparecimento de novos materiais e sistemas com a Revolução Industrial, os recursos cresceram exponencialmente e a tecnologia não saiu imune. Este desenvolvimento revolucionou a indústria automóvel, o aparecimento de alguns eletrodomésticos, barcos, aeronaves, ou seja, grande parte do nosso quotidiano, muito diferente do que existia antes de 1960. Neste mesmo período, em relação aos edifícios, não foi tão visível esta mudança tecnológica, mais a nível arquitetónico/estilístico e na digitalização da informação, com alguma oscilação nos tipos de materiais usados. A grande diferença entre um edifício hoje e um de 1960 está no aproveitamento dos recursos disponíveis e não no edifício em si depois de terminado. Deve-se ainda à precisão do desempenho da Engenharia na fase de projeto. Este progresso aumenta com a evolução dos computadores e com a adição de modelos à escala no projeto que em harmonia acrescentaram novos sistemas e modelos matemáticos à Engenharia (Addis, 2007) .

Os computadores tiveram um grande impacto na construção, fazendo de cada novo edifício um protótipo onde apenas existe uma oportunidade de fazer a coisa certa, contrariando muitas outras indústrias, onde um determinado produto pode ser várias vezes testado até ao ponto da sua destruição, como é o caso dos equipamentos eletrónicos ou carros por exemplo.

Nos edifícios a única forma de melhorar esses protótipos seria usar modelos à escala, mas mesmo assim estes revelaram-se relativamente dispendiosos e apesar da revolução dos computadores alguns modelos complexos poderiam levar semanas ou meses a serem desenvolvidos (Addis, 2007).

Os Engenheiros de estruturas foram não só os pioneiros no uso de modelos à escala, como também os primeiros a integrar os computadores no seu trabalho. Edifícios como a *Sydney Opera House* na Austrália (1957-73), o *Mannheim Garden Festival* na Alemanha (1975) ou coberturas como as do *Denver International Airport* no Colorado (1994), seriam impossíveis de ser concebidos sem o uso de modelos computacionais (Addis, 2007).

Por intermédio da indústria militar e aeroespacial, no final da década de 60, os computadores eram usados para a conceção de desenhos em projetos, que consistia em inserir pontos individuais num espaço 2D. O *software* de desenho foi-se desenvolvendo para incorporar mais poder de cálculo. Quando aplicados à engenharia, possibilitava o cálculo do centro de gravidade de um objeto ou a área de determinada componente estrutural (Addis, 2007).

Durante a década de 70, o termo "*computer-aided drawing*" mudou para "*computer-aided design*" (CAD). No fim da mesma era permitido obter resultados em tempo real, exibidos num ecrã denominado VDU (*Visual Display Unit*) com *software* CAD (Addis, 2007).

Em finais dos anos 80, o *software* evoluía a sua componente gráfica de duas para três dimensões. A palavra desenho foi substituída por modelação, onde pela primeira vez o utilizador podia criar uma réplica 3D de um objeto real. Nessa época, engenheiros e cientistas, adotaram o termo "modelo" para descrever a criação de qualquer programa de computador como ferramenta de cálculo. Esses modelos exibiam, para além da geometria, o comportamento estrutural, em que cada elemento contém informação relativa às suas propriedades materiais e estruturais ou resultados correspondentes à aplicação de cargas (Addis, 2007).

Hoje em dia os computadores permitem visualizar um modelo 3D como se tratasse de uma animação. Esse movimento representa o comportamento que o edifício teria no mundo real, como as reações a terremotos ou à ação do vento (Addis, 2007).

2.1.3 Edifício virtual

Em pleno séc. XXI, o mundo encontra-se no último passo relativamente ao desenvolvimento da construção, os edifícios virtuais. Na atualidade é viável simular praticamente todas as situações que contemplam a conceção de uma obra, sejam fatores internos ou externos.

O modelo virtual de um edifício pode ser modificado infinitas vezes para que fiquem asseguradas as necessidades do mundo real (Addis, 2007).

No que diz respeito aos fatores internos, é possível assegurar o comportamento térmico ao longo do ano, a iluminação natural e artificial, a resistência ao fogo, entre outras. Este conceito levou o engenheiro a ter a oportunidade de avaliar mais opções durante as várias fases do projeto, como por exemplo, na escolha da melhor geometria para uma cobertura, de modo a minimizar os momentos fletores nas vigas, bem como o seu tamanho e peso (Addis, 2007).

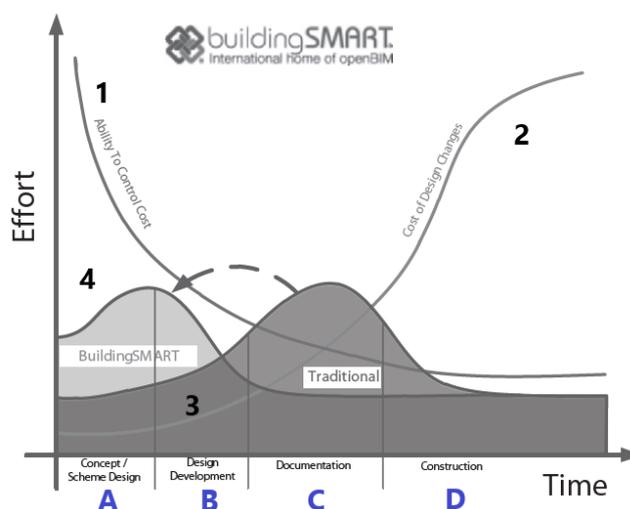
Em relação aos fatores externos, a simulação do comportamento das pessoas em constante movimento num edifício retrata um bom exemplo do que pode ser explorado. Otimizando esse planeamento, é possível prever problemas de congestionamento ou uma evacuação hipotética (Addis, 2007).

Com os edifícios virtuais a ideia principal é alcançar o ponto ótimo. Este processo, não só ajuda o trabalho do engenheiro, como também o aproxima das intenções do arquiteto e do cliente. Ganha a relação entre as partes envolvidas e facilita a discussão do projeto. Esta evolução trouxe maior clareza ao engenheiro, tornando-o mais capaz e transformando a sua metodologia de trabalho (Addis, 2007).

2.2 Building Information Modeling

2.2.1 Conceito

Antes de apresentar o conceito BIM, seria oportuno enquadrá-lo dentro de algumas necessidades que o antecederam. A Curva de MacLeamy (Figura 1) representa uma comparação entre os resultados do método tradicional e o método colaborativo proposto. Por observação do gráfico, entende-se que o objetivo passa por colocar mais esforço numa fase embrionária do projeto, que permitirá detetar erros numa fase inicial, evitar custos acrescidos numa fase avançada, reduzindo assim o esforço de todos os envolvidos nessa fase tardia. O Método Colaborativo foi concebido para antecipar essas tomadas de decisão, tornando todo o planeamento mais eficiente (Crotty Ray, 2012). A este conjunto de novas práticas deu-se o nome de *Integrated Project Delivery* (IPD) (AIA California Council, 2007). Este conceito recorre às novas tecnologias, onde todos os atores envolvidos num determinado projeto participam ativamente através dessas, com as competências que lhes estão impostas, para chegar ao melhor resultado que lhes é comum. Isso torna todas as entidades envolvidas mais produtivas e responsáveis no que executam, aumentando consecutivamente a competitividade interna. Esta seria a melhor forma de instigar uma boa prática, no entanto alguns entraves como a falta de confiança entre equipas, conflitos de liderança ou custos partilhados poderão impedir a sua implementação (Scott, Flood, & Towey, 2013).



Ciclo de vida dum Edifício:

A – Criação do conceito; Projeto inicial.

B – Execução do projeto.

C – Documentação;

D – Construção;

1 – O efeito que as decisões têm sobre os custos e outras considerações do projeto.

2 – Custos ao longo do ciclo de vida de um edifício, consequência das alterações produzidas.

3 – Método Tradicional.

4 – Método colaborativo.

Figura 1- Curva de MacLeamy, (Crotty Ray, 2012)

Na década de 70, Charles M. Eastman criou o conceito *Building Product Model* e o mesmo exprime-o em ‘... uma tecnologia de modelação e um conjunto de processos associados para produzir, comunicar e analisar modelos de construção’ (Eastman, 2011). Só mais tarde o arquiteto Phil Bernstein da Autodesk deu o nome *Building Information Modeling* (BIM) à metodologia anteriormente enunciada e posteriormente popularizada por Jerry Laiserin (Eastman, 2011).

Apesar de toda a discussão à volta de um conceito, a primeira entidade a implementar o BIM foi a Graphisoft através da sua aplicação Archicad, lançado pela primeira vez 1984, e inicialmente desenvolvida para a Apple Macintosh. O Archicad foi o primeiro sistema CAD (*Computer Aided Design*) que permitiu a modelação 3D à indústria da arquitetura e a introdução de outras informações associadas para além da geometria dos objetos. Esse sistema trouxe ainda outros benefícios, reunindo informação da toda a indústria AEC num modelo único apelidado de modelo virtual, mais tarde conhecido por Virtual Construction (VICO) (Crotty Ray, 2012).

Paralelamente a este desenvolvimento da Graphisoft, a empresa de engenharia alemã Nemetschek GA, fundada em 1963, lançou um sistema CAD em 1984 denominado Allplan, também desenvolvido inicialmente para a Apple Macintosh e destinado à engenharia e à modelação 3D de objetos. Mais tarde em 2007, esta mesma empresa comprou a Graphisoft e desvinculou-se da VICO, tornando-a uma empresa independente (Crotty Ray, 2012).

Esta época coincide com a implementação oficial do BIM, como ilustrado na Figura 2.

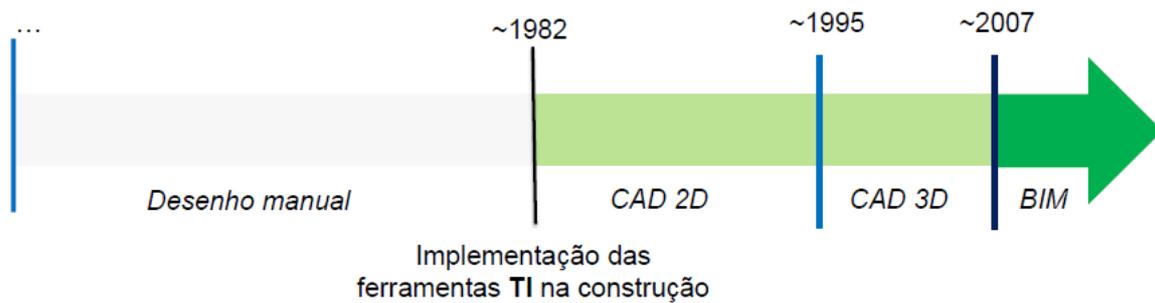


Figura 2 - Cronologia das Metodologias AEC, (Venâncio, 2015)

O BIM é uma metodologia que permite a comunicação e a partilha de informação com todos os intervenientes de um projeto num único modelo digital, planeado para todo o ciclo de vida do mesmo. Através de *software* desenvolvido para este método é possível manipular toda a informação do modelo e atualizá-la sempre que necessário com todas as outras equipas integrantes da obra. Fala-se de características físicas de um edifício, componentes geométricas de elementos estruturais, propriedades e materiais de elementos, custos, tempo de execução, entre outros (Azhar, 2011).

Estes modelos paramétricos, isto é, objetos que se relacionam parametricamente entre si, criados a partir de sistemas de modelação 3D contêm diferentes formatos para uma partilha de informação correta com outros sistemas, de acordo com as necessidades de cada setor do projeto. Esta troca de informação é regulada com base em protocolos que estabelecem o género de informação a ser partilhada entre membros da equipa, a qualquer momento do ciclo de vida do edifício. (Crotty Ray, 2012) À medida que cada ator da equipa contribui com o seu papel, o modelo fica mais enriquecido, elevando assim a sofisticação da informação para o nível de desenvolvimento pretendido, designado por LOD (*Level of Development*) (Eastman, 2011).

Para uma correta implementação do BIM num projeto é necessário ter em atenção três aspetos diferentes (Crotty Ray, 2012):

- A estrutura da organização do projeto e as estratégias de aquisição;
- A implementação de formatos de ficheiros compatíveis com as principais aplicações da metodologia para uma troca de informação otimizada;
- A implementação de protocolos para a troca de informação correta, com a origem de cada componente e devido detalhe a ser partilhado ao longo da duração do projeto.

Esta mudança de paradigma irá afetar a realidade de diversas indústrias e com enorme influência no setor da construção, mas também terá impactos sociais. Se o objetivo é a otimização de processos, a segurança na troca de informação e um bom planeamento, ou seja, potencializar a construção numa perspetiva sustentável, recorrer-se-á a uma quantidade menor de materiais, menos pessoas e um financiamento inferior para a obtenção de maior eficiência (Azhar, 2011; Eastman, 2011)

2.2.2 O processo colaborativo BIM

Como é sabido, o BIM veio colmatar algumas falhas existentes no método tradicional, principalmente na qualidade e informação dos desenhos de projeto e uma comunicação entre membros da equipa debilitada (Crotty Ray, 2012)

Em primeiro lugar, irão ser apresentados esquemas e respetivas considerações sobre duas metodologias de trabalho diferentes na indústria da construção, a Metodologia Tradicional e a Metodologia BIM.

- **A Metodologia Tradicional consiste num Modelo Faseado:**

Considera-se que um Modelo Tradicional (Figura 4), na indústria da construção, engloba desde os desenhos elaborados à mão até ao uso dos sistemas CAD. Apesar desta mudança ter sido vantajosa na alteração da qualidade, rigor e fiabilidade nos desenhos de projeto realizados pelo arquiteto, pouco alterou em relação à troca de informação com os outros setores inerentes a uma obra, persistindo desse modo o modelo faseado (Crotty Ray, 2012).

A maior parte da informação que é usada numa construção tem origem nos desenhos de arquitetura e é nesta fase que aparecem a maior parte dos problemas iniciais.

Os sistemas CAD suportam o desenho 2D e o 3D, mas não se podem considerar verdadeiras ferramentas de modelação. São ficheiros em formato digital só de leitura e não podem ser reutilizados por outros,

devem ser rigorosamente examinados por quem os recebe em relação à sua consistência (Venâncio, 2015).

Qualquer que seja a informação extra aos desenhos, terá de ser introduzida noutra *software* e são estas trocas de informação que por vezes levam a erros. Isto é um processo que leva a atrasos no cumprimento de prazos na indústria da construção (Crotty Ray, 2012).

Esta metodologia é caracterizada por uma estrutura organizacional sequencial (Figura 3), que logo à partida apresenta defeitos pelo tempo de espera na obtenção de respostas. Sabendo que se um dos pontos do esquema é comprometido de alguma forma, não passará ao seguinte enquanto não for resolvido, logo pode ser visto como um inconveniente, (Thomassen, 2011)

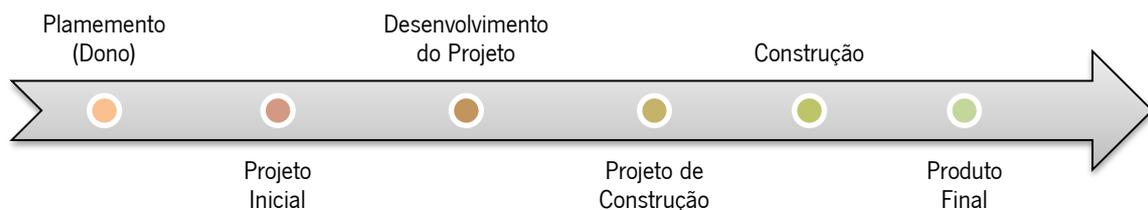


Figura 3 - Metodologia Tradicional, Adaptado de (Thomassen, 2011)

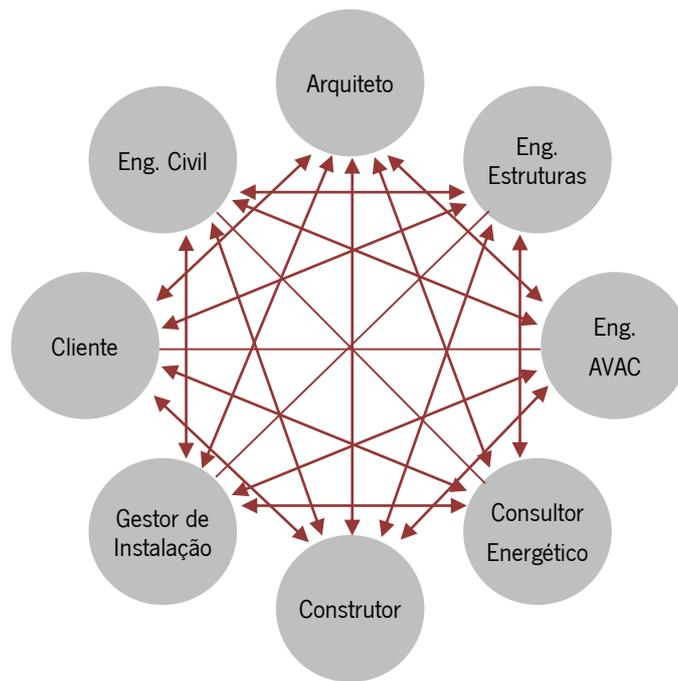


Figura 4 - Metodologia Tradicional Colaborativa, adaptado de (Wilkinson, 2012)

- **A Metodologia colaborativa em BIM consiste num Modelo Cíclico:**

A principal vantagem da Metodologia colaborativa BIM, como ilustrado nas Figuras 5 e 6, é consistir num modelo cíclico onde todos os envolvidos conseguem a partilha dos ficheiros numa tipologia comum a todos, que leva ao conceito BIM de modelo único (X. Wang, Truijens, Hou, Wang, & Zhou, 2014). Neste processo todos os intervenientes podem trabalhar simultaneamente e individualmente no mesmo modelo, levando à deteção prévia de possíveis erros, interferências e omissões.

A utilização de ferramentas BIM consegue esclarecer como essa troca de informação é otimizada tornando todos os atores mais eficientes (Eastman, 2011).

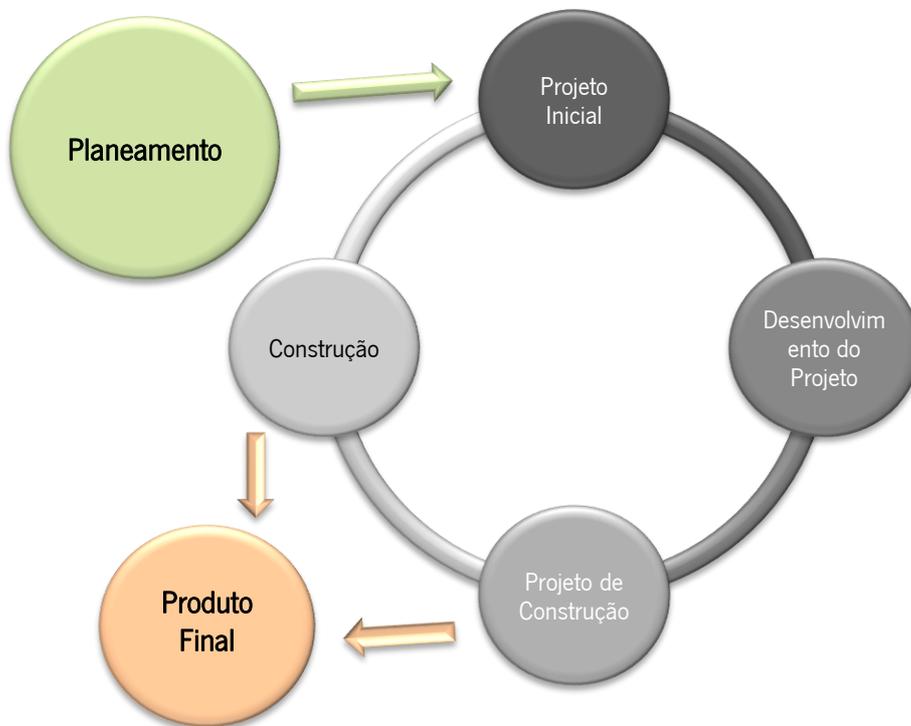


Figura 5 - Metodologia Colaborativa BIM, adaptado de (Thomassen, 2011)

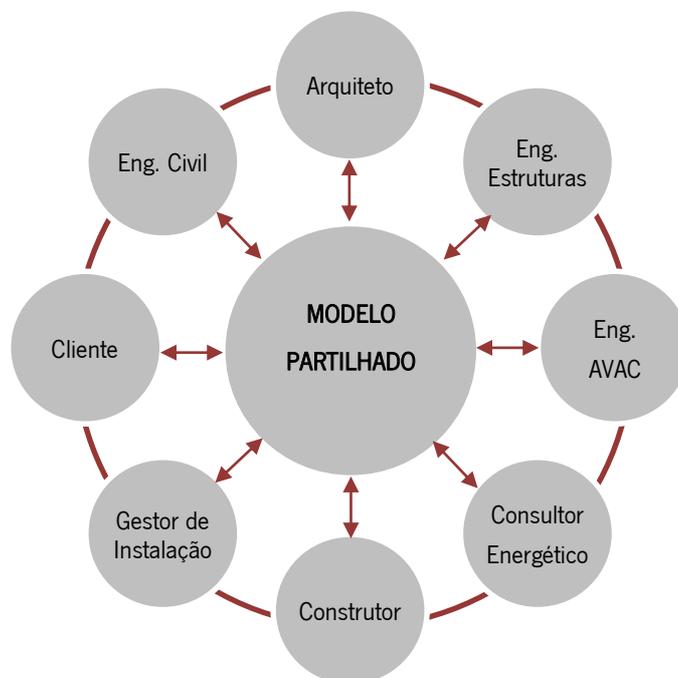


Figura 6 - Metodologia BIM, adaptado de (Wilkinson, 2012)

2.2.2.1 Ferramentas e processo BIM

Os sistemas de modelação paramétrica permitem ao utilizador criar um modelo num espaço 3D, agregando nele objetos que correspondem a componentes físicas de edifícios reais. Estes armazenam e organizam essas componentes por classes e grupos que partilham as mesmas propriedades. Esta é uma das mais-valias das ferramentas BIM e um ponto crucial para a sua implementação, pois permitem mais do que qualquer outra a incorporação de vastas propriedades aos correspondentes objetos (Eastman, 2011; P. Wang, Wu, Wang, Chi, & Wang, 2018)

As ferramentas de modelação BIM possuem um número alargado de objetos padrão bem especificados e fornecem métodos em que o utilizador pode associar as propriedades em armazenamento com a sua família de objetos padrão. Os utilizadores podem recriar e organizar a própria família de objetos de acordo com a sua preferência, de maneira a que elas integrem o sistema corretamente. Nas ferramentas BIM, existem duas famílias de componentes de proprietários a destacar, para além das componentes genéricas incorporadas. A primeira fala de elementos representativos de produtos construtivos, que são introduzidos no sistema pelos próprios fabricantes e que podem conter informações diferentes ou adicionais aos elementos padrão. A segunda refere-se a componentes criadas por empresas independentes de *software*. A grande vantagem destas duas famílias de componentes é estarem disponíveis pelos próprios criadores para *download* em vários formatos compatíveis com os sistemas de modelação genéricos, usualmente em IFC (*Industry Foundation Classes*) (Crotty Ray, 2012). O IFC é um tipo de formato de um modelo, exportado dos sistemas de modelação BIM, que compreende um conjunto de especificações com descrição dos componentes usados na indústria da construção, por forma a facilitar a interoperabilidade com todos os restantes setores. Qualquer sistema que seja compatível com o IFC deve estar capacitado para a grande quantia de informação que irá receber deste formato no seu estado neutro, para que a transferência seja concisa, permitindo ao utilizador importar desta forma todos os detalhes no seu próprio sistema, desenvolvendo o seu trabalho sem a intervenção dos outros envolvidos (Crotty Ray, 2012). A Building Smart é responsável pelo desenvolvimento e pela padronização de informação a ser partilhada entre as equipas de projeto, através do IFC.

Depois de tecidas algumas considerações gerais e introduzidos alguns conceitos sobre o processo colaborativo, é necessário estabelecer a parceria que existe entre o Engenheiro e o Arquiteto na adoção desta metodologia, pela influência que o seu papel possui ao longo do ciclo de vida de uma obra. Como

se pretende um modelo único final, ambas devem agir em conformidade e tudo começa pelo projeto de arquitetura (Lai & Deng, 2018). O primeiro passo é o modelo elaborado pelo Arquiteto de acordo com as pretensões do Dono da Obra. Eles devem chegar a um atendimento após discussão e negociação do projeto (Crotty Ray, 2012). Este modelo irá ser exportado para uma plataforma central e comunicado à restante equipa. Neste momento deve surgir o Engenheiro para importar o modelo BIM da plataforma central e dar início às suas funções, como a respetiva análise e o dimensionamento estrutural. Resta gravar as alterações introduzidas no modelo e atualizá-lo na plataforma central para que se possa dar continuidade ao restante processo, comunicando uma vez mais a todos os intervenientes (Lai & Deng, 2018)

O uso do BIM consiste essencialmente em assegurar melhorias significativas na qualidade de informação criada e usada num projeto. Um dos requisitos fundamentais desta metodologia é assegurar-se de que tem um projeto arquitetónico corretamente elaborado de acordo com a modelação BIM e para isso já existe um número alargado de ferramentas. Para além da arquitetura, existe a componente de estruturas e MEP (*Mechanical, Electrical and Plumbing*), que contam também com uma grande oferta de ferramentas BIM (Eastman, 2011).

Numa fase posterior deste estudo, dar-se-á foco a duas ferramentas (*software*) BIM em particular, por fazerem parte da realidade de trabalho na área de projeto e inovação do Grupo Shay Murtagh. São elas o Tekla Structures e Autodesk Revit e ambas estão ilustradas na Figura 7, de acordo com a sua área de aplicação na indústria AEC:

<i>Architecture</i>	
Autodesk	Revit Architecture
Bentley	Architecture
Gehry Technologies	Digital Project
Graphisoft	Archicad
<i>Structural engineering</i>	
Autodesk	Revit Structures
Bentley	Structural Modeller
Design Data	SDS/2
Tekla	Tekla Structures
AceCad	StruCad
<i>Mechanical, electrical and plumbing engineering (MEP)</i>	
Autodesk	Revit MEP
Bentley	Building Electrical Systems
	Building Mechanical Systems (CADDUCT, DDS)

Figura 7 - Ferramentas de Aplicação BIM na Indústria AEC (Crotty Ray, 2012)

Esta figura é uma representação da aplicabilidade do *software* BIM em algumas das principais áreas da construção, demonstrando a sua importância na partilha de informação e o quão relevante isso é para a contínua procura de melhorias de implementação de protocolos e padronização da informação (Crotty Ray, 2012). Na indústria AEC, ainda se pode englobar outros como o Solibri Model Checker, Rhino, Navisworks, ArchiCAD, SketchUp, Infracore, Novapoint, Civil 3D, entre outros (Jönsson, 2015).

Dentro das ferramentas BIM é usual a criação de API's (*Application Programming Interface*) para o otimizar o processo de transferência de informação. A API é uma ou um conjunto de especificações, utilizado como um interface para a comunicação eficiente entre programas distintos. Em relação aos sistemas de modelação, uma API pode conter especificações para estruturação de dados, classes de objetos por exemplo ou variáveis. De um modo mais prático, a API oferece ao programador a possibilidade de criar uma determinada aplicação que consiga aceder diretamente a dados de um outro programa (Api et al., 2015; Crotty Ray, 2012).

A linguagem usada numa API pode ser classificada como dependente ou independente. Para a primeira opção ela só pode ser usada por intermédio de uma linguagem específica, tornando o seu uso mais objetivo e restrito. Uma linguagem independente faculto o seu recurso às mais variadas linguagens de programação. Este tipo de APIs permite a outras aplicações desenvolvidas sem vínculo a um sistema específico, que possam recorrer delas para aceder a serviços web por exemplo. Colocando o cenário de

um *website* que recorre aos serviços do *Google Maps*, permitindo que o utilizador tenha uma noção geográfica sobre a informação que procura, percebe-se mais facilmente de que forma esta linguagem independente atua. Esta API do *Google Maps* é que define os limites de utilização da sua plataforma a terceiros (Api et al., 2015).

2.2.3 Potenciais aplicações e entraves

Ultimamente, a construção tem enfrentado muita discussão à volta de temas como a sustentabilidade, produtividade, eficiência ou segurança, cada vez mais relevantes nos dias de hoje. No entanto, quem continua a determinar a maneira como tudo é executado são as construtoras responsáveis pela obra, onde o foco tem maioritariamente persistido em previsões e lucros. Esta não renovação de conceitos existe, porque esses temas lançados anteriormente não têm influência direta naquilo que é a vida de uma empresa, não constituindo dessa forma uma ameaça (Crotty Ray, 2012).

O papel do BIM permite que esses problemas sejam ultrapassados assim que houver uma normalização da metodologia, assegurando informação eficiente e segura no modelo (Hendler, Berners-lee, & Miller, 2017). Os imprevistos e erros de projeto, juntamente com a baixa rentabilidade resultam da qualidade reduzida de informação utilizada nos projetos através de metodologias mais conservadoras (Lai & Deng, 2018).

Um projeto que siga os padrões BIM não deverá ter esses e outros problemas, uma vez que seja bem gerido. A informação que é passada ao cliente, entre equipa ou empresas contratadas, é mais enriquecida do que a fornecida através de desenhos 2D pelo método tradicional, pois o modelo BIM envolve menos revisões do ponto de vista da credibilidade, consistência e é coordenado com precisão, para além das suas ferramentas que acrescentam qualidade na gestão de projeto e construção (Lai & Deng, 2018). Outra vantagem é ser um modelo reutilizável sem a necessidade do utilizador recorrer a outros membros do projeto, dedicando-se apenas à execução da sua função (Wu & Wu, 2015).

Para aclarar melhor as vantagens do BIM nas várias fases do projeto elaboraram-se as seguintes considerações (Crotty Ray, 2012):

- **Administração e elaboração do projeto:** toda a informação relevante está contida num modelo único ou na base de dados da empresa;
- **Comunicação com o cliente:** a qualidade do modelo permite ao cliente ver como será o produto final com uma qualidade muito significativa, com custos e planeamento incluídos, acelerando a tomada de decisão;
- **Comunicação com a equipa de projeto:** a qualidade do conteúdo do modelo BIM, trocada entre membros da equipa de projeto reduz o número de iterações para chegar a um ponto ótimo. A eficiente comunicação entre membros da equipa, leva também à deteção precoce de erros, incompatibilidades e interferências. No método tradicional, muitos destes erros são apenas descobertos na fase de construção, onde o custo de alterações é já bastante elevado (de acordo com a curva de MacLeamy);
- **Comunicação com os empreiteiros/equipa de construção:** este setor necessita de boa qualidade da informação do projeto, clara e consistente para que a construção seja realizada e programada convenientemente. Com um modelo BIM, esses pontos são satisfeitos, evitando que haja a entrega de documentação tardia e eventuais erros;
- **Gestão da construção:** o uso da qualidade gráfica do modelo 3D para a respetiva interpretação do edifício, que inclui a deteção de incompatibilidades com a simulação do modelo, bem como as vistas de corte especiais para deteção de problemas mais específicos. Mais uma vez a qualidade de um modelo bem elaborado irá ditar o sucesso da sua gestão.

Existe outra grande vantagem para as duas entidades que desenvolvem em conjunto o mesmo projeto e partilham o mesmo modelo BIM. Enquanto uma equipa trabalha a parte estrutural, a outra encarrega-se das fachadas. Todas as alterações ou desenvolvimentos do projeto são gravadas nesse modelo onde todos têm acesso e uma posição crítica, levando a uma competitividade amigável entre empresas (Vidal, 2017). Tomando em consideração os estudos feitos sobre as vantagens do BIM, a par das considerações tecidas pela empresa de betão pré-fabricado PRECON no desenvolvimento de alguns dos seus projetos, a sua implementação prova (Vidal, 2017):

- Estima de forma precisa e gere o risco do projeto;
- Os modelos BIM são mostrados ao cliente para que se possa decidir melhor as alternativas às soluções estruturais;
- Redução dos erros de fabrico em 70% a 80%;
- Redução de tempo na parte de projeto de 35% em comparação com a metodologia anterior (CAD), o que significa uma grande poupança no custo;
- 50% de redução de tempo nos desenhos de produção;
- Ligação direta com a produção, a transferência de informação é eficiente e evita erros humanos;
- O controlo é absoluto em relação às quantidades de betão e aço usados;
- Com a informação gerada por um *software* BIM, permite uma melhor coordenação entre equipas e cumprir prazos de uma maneira mais eficiente;
- O estado de produção e montagem pode ser visto no modelo gerado em qualquer momento.

2.2.3.1 Funcionalidades e potencialidades do BIM

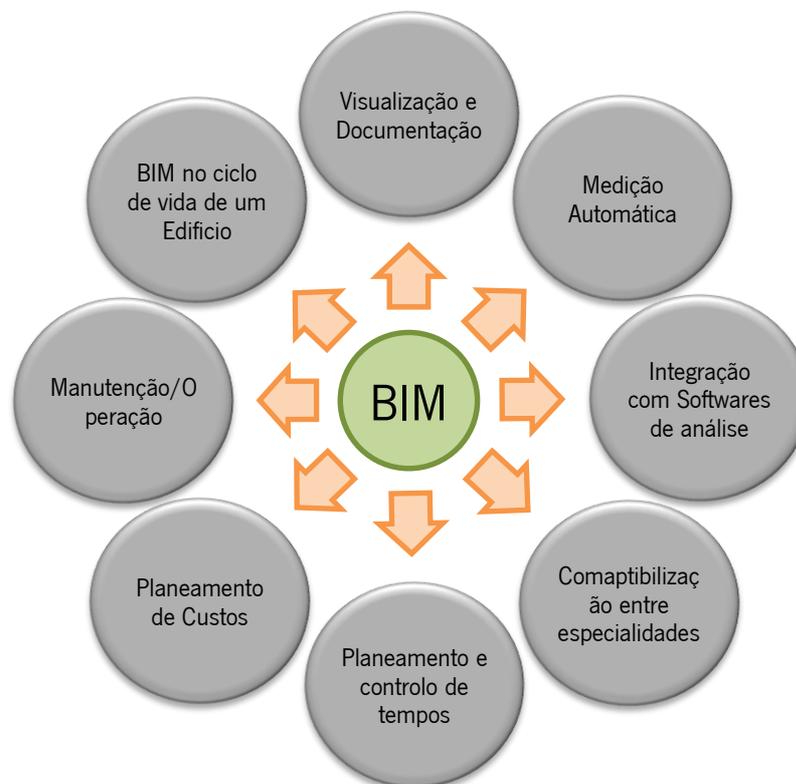


Figura 8 - Usos do BIM, adaptado de (Azhar, 2011; Kreider & Messner, 2013)

Uma das maiores potencialidades dos usos do BIM (Figura 8) é a capacidade de gerir um edifício durante todo o seu ciclo de vida, através da informação computável do modelo, permitindo uma atualização instantânea de alterações introduzidas (Figura 9), em todas as vistas, otimizando a produtividade (Jönsson, 2015). Até aos dias de hoje, com o método tradicional, cada transação de informação ou evento realizados durante o ciclo de vida da obra requer a supervisão humana constante, assim como cada desenho ou impressão CAD deve ser revista e analisada ao detalhe.

A medição das quantidades do projeto é exata e automatizada em BIM, reduzindo o tempo e o erro humano (Eastman, 2011).

O BIM pretende unificar todas as empresas da construção de forma a tornar a indústria mais sofisticada e completa no processo colaborativo. Esta aproximação do BIM terá impacto noutras áreas da construção, como as indústrias de fabrico externo ao local da obra ou as empresas de pré-fabricação, como é o caso do Grupo Shay Murtagh. A adoção deste fabrico externo aumentará, assim que for assegurado um bom planeamento, que torna os processos construtivos no local da obra mais previsíveis, reduzindo o erro e aumentando a produtividade entre essas duas áreas de atividade. Quanto mais produtiva se revelar a fabricação externa ao local da obra, maior qualidade terá o seu produto e aumentará a sua procura, o que diminuirá consecutivamente o custo de transporte. O mercado para estes produtos tornar-se-á global num curto espaço de tempo, assim que se garantir a padronização internacional (Crotty Ray, 2012).



Figura 9 - Fluxo de Interoperabilidade, adaptado de (Jönsson, 2015; Thomassen, 2011)

2.2.3.2 Principais barreiras à implementação do BIM:

As principais desvantagens ou entraves à implementação do BIM podem ocorrer de duas formas, em termos legais e técnicos (Azhar, 2011; Diaz, 2016).

Em relação aos termos legais ou contratuais, poderá existir algum condicionamento na atribuição de propriedade pelo uso dos dados BIM, existindo uma necessidade de os proteger por leis autorais ou outros meios legais. Pode-se colocar, a título de exemplo a relação entre o proprietário e a equipa de um determinado projeto. O proprietário que paga o projeto, tem o direito de o atribuir como seu, mas se a equipa de projeto recorrer na sua execução a informações de sua propriedade, terão de ser igualmente protegidas. Este caso generalizado mostra que não existe uma atribuição de propriedade clara, pelo que irá diferir de projeto em projeto, de acordo com as necessidades. Para contornar estas problemáticas, o aconselhável é estabelecer esses direitos e responsabilidades de propriedade na documentação contratual (Ozbek, 2018).

Poderão ainda existir problemas de licenciamento, quando os intervenientes do projeto, sem ser o dono, o arquiteto ou o engenheiro, introduzem dados no modelo referentes a equipamentos ou materiais de empresas fornecedoras (Azhar, 2011; Venâncio, 2015).

Outra questão contratual fundamental é a responsabilidade pelas informações introduzidas no modelo BIM caso existam falhas. Assumir este tipo de ocorrências envolve um grande risco para o responsável e é algo que deve ser decidido antes do uso do BIM, assim como os custos da sua implementação. Se o proprietário de um edifício se deparar com incompatibilidades perante os arquivos do projeto, todos os colaboradores deverão chegar a um acordo pelo erro encontrado, se não, o projetista líder ou a autoridade máxima do projeto será responsabilizada perante a lei (Azhar, 2011).

Relativamente aos entraves técnicos, podemos associar os custos e a programação das atividades introduzidas no modelo BIM. À medida que este tipo de informação dilata, a comunicação correta entre programas torna-se um problema. As empresas que requerem os serviços das subcontratadas, exigem uma programação detalhada e custos para os respetivos produtos. Se essa troca de informação for efetuada através do mesmo *software* ela decorre com maior naturalidade, se não, exige um maior esforço por parte do contratante para incluir toda essa informação na programação geral do projeto, o que leva a desperdício de tempo. Para suprir esta falha, pode-se estabelecer contratos de entrega de projeto colaborativo, onde o risco é distribuído pelos participantes do projeto (Azhar, 2011; Crotty Ray, 2012).

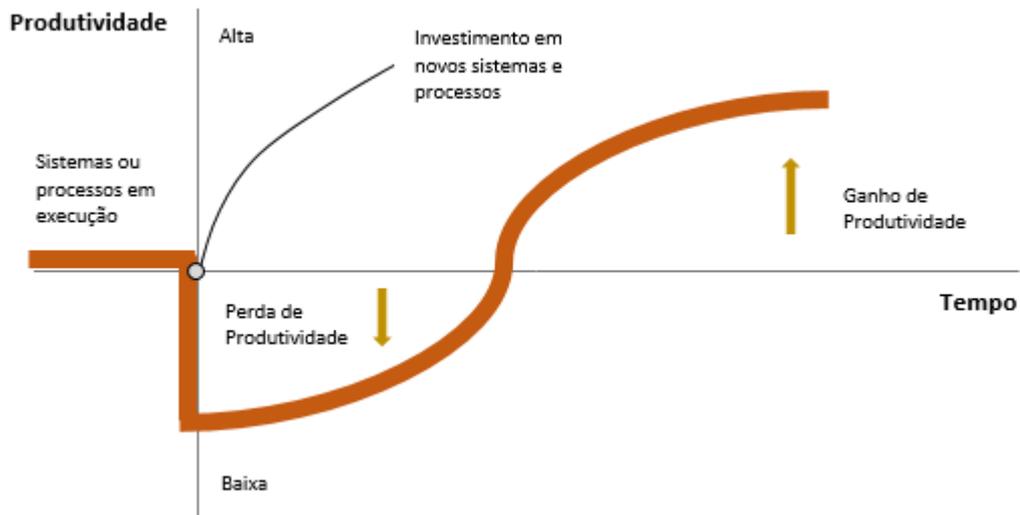


Figura 10 - Balanço do Investimento BIM, adaptado de (Salih, 2012)

Por interpretação do gráfico da Figura 10, pode-se analisar de forma mais pragmática a implementação BIM ao longo do tempo. Inicialmente existe uma quebra na produtividade, pois corresponde aos sistemas que se encontram nesse momento implementados numa determinada indústria antes do uso do BIM, ou seja, indica a falta de conhecimento inicial. Como já foi referido noutros pontos, é necessário um investimento em novos sistemas, assim que se avança para a implementação desta metodologia e isso leva a uma perda de produtividade inerente, é uma fase de adaptação. Apesar de ao longo do tempo ser possível recuperar esse investimento e mais tarde lucrar com a produtividade, pode ser interpretado como um entrave, pois grande parte das empresas da indústria da construção ainda se prende no ponto inicial, que representa um investimento significativo em licenças de *software*, *hardware* e formação dos trabalhadores (Jönsson, 2015). Enquanto não existir uma normalização não só dos processos, como também de toda a metodologia colaborativa, será difícil que mais empresas invistam no BIM, a não ser que possuam grande capital (Reizgevičius, Ustinovičius, Cibulskienė, Kutut, & Nazarko, 2018; Salih, 2012).

2.2.4 BIM no betão pré-fabricado

O grande elo de ligação entre o BIM e o betão pré-fabricado é a sua precisão (Vidal, 2017).

Apesar de ser uma metodologia com as suas valências e limitações nos vários ramos da construção, existem alguns que à partida nos dão mais confiança, como na produção de betão pré-fabricado (Figura 11), pois exige-se enorme precisão geométrica durante todas as fases da construção, de maneira a garantir uma boa execução até ao fim da mesma. É essencial cumprir à risca as suas dimensões de projeto, de modo a não comprometer a sua instalação e evitar possíveis colisões, seja entre elementos do mesmo ou destes com outras instalações já existentes no local da obra. Para ser mais fácil de visualizar mentalmente podemos pensar na montagem de um puzzle, onde cada uma das peças tem dimensões e destino específicos. Caso se venha a verificar alguma anomalia, tudo pode ser retificado ainda na fase de projeto com custos reduzidos (Marasini & Patlakas, 2015; Vidal, 2017).

Para além disto o BIM consegue reunir todas as equipas intervenientes da construção em tempo real e permite localizar e distinguir os diferentes sistemas no espaço, elétricos e mecânicos, por exemplo. Se existir algum conflito entre eles, basta ajustar o modelo de acordo com as necessidades. Na metodologia convencional, mesmo seguindo as instruções de projeto, podem ocorrer erros pela intervenção humana, que só serão visíveis depois de executados. Isso trará mudanças na distribuição espacial de alguns elementos estruturais e a sua retificação terá de se feita no estaleiro da obra, acarretando os atrasos de tempo e custos acrescidos (Azhar, 2011; Jönsson, 2015).



Figura 11 - setor de produção do Grupo Shay Murtagh, peças de betão pré-fabricado

2.2.4.1 O betão pré-fabricado na vida das empresas

O primeiro passo a ser dado por qualquer empresa que queira implementar o BIM na sua realidade de trabalho, deverá ser a alteração da informação que atualmente possuem em relação a um determinado produto para um formato IFC ou outro compatível, permitindo assim que esse modelo gerado esteja disponível para qualquer *software* BIM (Lai & Deng, 2018). Pode-se chamar a este processo uma espécie de catalogação (Vidal, 2017).

Para uma empresa que fabrica produtos de construção, como betão pré-fabricado, a informação relativa a um produto BIM, pode-se determinar como básica ou mais completa, isto é (Eastman, 2011; Vidal, 2017):

1. Como opção mais básica considera-se um painel para uma fachada. A empresa neste caso pode optar pela sua informação genérica e respetivos dados geométricos, normalmente representados por um modelo 3D. Esta abordagem é limitada às dimensões espaciais da peça que será depois incluída no sistema do projeto total;

- No caso de se pretender algo mais completo, inclui-se mais informação do modelo, tomando o exemplo parcial ou total de um edifício. Um modelo que pode ir do 3D ao 7D engloba simulações do projeto, custos inerentes, sustentabilidade do edifício ou planeamento para o ciclo de vida, etc.

Os dados relativos a um ficheiro BIM devem ser introduzidos numa folha de Excel específica denominada *Product Data Template* (PDT), considerando a existência de outras alternativas, que consiste, resumidamente, num questionário *standard* descritivo para cada produto como representado na Figura 12 (Vidal, 2017).

	Information categories	Fields (element modelling to include)	Recommendations
Geometrical data More complete information	Model	Masonry block ANDECE 40x20x20	Identification of the product-type (trademark, code, etc.)
	Template category	Name of the precast concrete element	For instance, the title of EN standard which covers the product
	Template version	V.1 (February 2017)	
	Category description	Description	For instance, the EN standard scope (Chapter 1)
	Manufacturer data	Company name, website, phone, contact email, etc.	Any data to characterize the product, also including external reference if needed (drawings, pictures, guidance, website, etc.)
	Construction data	Type, model, material/s, colour, etc.	
	Geometrical data	Length, width, height, weight, tolerances, or any other dimension (general or specific)	
	Application data	Intended use, handling or installation guidance's, operation and maintenance, etc.	
	Performance data	Compressive strength (concrete), ultimate tensile strength (steel), mechanical resistance, safety design factors, resistance and reaction to fire, durability, acoustic insulation parameters, etc.	For instance, the technical characteristics defined in EN product standard
	Other information	All reinforcement including post tension elements detailed and modelled, lifting devices, etc.	Increased LOD (≥ 350)
	Sustainability (6D)	Embodied carbon, life cycle analysis (Environmental Product Declaration), recycled/secondary aggregate content, etc.	Information required by sustainable certification schemes (BREEAM, LEED, etc.)

Figura 12 - Exemplo de um PDT (Vidal, 2017)

Em 2012, um grupo de pré-fabricadores Finlandeses, juntamente com a Senaatti, Skanska e Tekla participaram num projeto chamado BEC 2012 com o intuito de criar um *Precast Modeling Guideline*, um

guia para uma melhor e mais eficiente implementação da modelação 3D na indústria do betão pré-fabricado e, dessa forma, estabelecer condições mais frutíferas para suavizar fluxos de trabalho, colaboração e BIM (Vidal, 2017).

Em 2016, a *British Precast* lançou uns PDTs para tubos, blocos e vigas, com o intuito de promover uma larga discussão com os projetistas e empreiteiros, acerca dos dados necessários a serem implementados para o BIM level 2 – um *website* com a finalidade de apresentar o uso adequado do BIM em termos de produtividade e redução de desperdícios (Vidal, 2017).

A Associação de betão pré-fabricado Espanhola (ANDECE) lançou várias bibliotecas BIM (Figura 13) em plataformas como a BIMETICA, BIMobject e BIM&CO com informação de produtos genéricos de betão pré-fabricado, como exemplo do que deve ser feito, para que todos estejam preparados aquando da afirmação desta metodologia (Vidal, 2017).

BIM library	Precast concrete products	Link	Geographic scope
BIMobject	10 generic products developed by ANDECE, plus 13 trademark objects	1)  2) 	Mainly in Europe
NBS National BIM Library	The most complete. It includes more than 200 trademark objects	3) 	United Kingdom
SMARTBIM	27 products, both generic and trademark objects	4) 	Originated in the US
BIMETICA	10 generic products developed by ANDECE	5) 	Spain and Latin America
BIM&CO	Ongoing	6) 	Originated in France
BIMTOOL	14 generic products	7) 	Latin America

Figura 13 - Bibliotecas BIM (Vidal, 2017)

2.2.4.2 Vantagens para os pré-fabricadores (*precasters*)

O betão pré-fabricado é um produto relativamente complexo a ser usado com *software* BIM, apesar de ser adaptável para qualquer que seja a sua forma ou especificação, ou seja, existem diversos parâmetros a ter em conta para a sua correta fabricação. Todos esses detalhes implicam muitas horas ao utilizador para se adaptar adequadamente às potencialidades desta metodologia (Eastman, 2011).

O BIM é baseado na precisão e acompanhamento desde a fase de projeto à edificação, assim como o betão pré-fabricado que precisa ser modelado, produzido e instalado (Vidal, 2017).

Para qualquer entidade, seja ela uma empresa ou um serviço particular, é necessário primariamente analisar qual o melhor *software* a ser utilizado, de acordo com a sua tipologia de trabalho, a interoperabilidade desse com outros e em concordância com as pretensões do utilizador. É certo que o investimento será elevado inicialmente, pois é preciso formar pessoas capazes de usar esta metodologia, bem como adquirir todas as licenças de *software* necessárias (Vidal, 2017) ((Marasini & Patlakas, 2015).

Um exemplo de *software* BIM é o Tekla Structures, que integra projeto e os seus detalhes com a fabricação e a gestão de projeto, durante todo o ciclo de vida da obra. Para além de toda a informação detalhada sobre o produto é possível identificar possíveis problemas através do modelo. Para todas estas afirmações, considera-se o exemplo da empresa espanhola PRECON, que adotou o Tekla em 2014 (Vidal, 2017).

Para concluir e apesar dos obstáculos iniciais inerentes, qualquer empresa que pretenda implementar o BIM para se tornar competitiva no futuro, mais para empresas de betão pré-fabricado, seria interessante transformar algumas das suas peças em ficheiros BIM e criar assim uma base de dados, ou catálogos e bibliotecas, como visto anteriormente (Vidal, 2017) (Eastman, 2011).

2.2.5 BIM em Portugal

O BIM em Portugal ainda não se encontra totalmente implementado. Existem bastantes iniciativas, grupos de trabalho e conferências, numa tentativa de aproximar a metodologia à realidade do setor construtivo, permitindo que a sua discussão se estenda às Universidades, como entidades formadoras (Venâncio, 2015).

A CT197 é uma Comissão Técnica, que em conjunto com comissões de outros países europeus, se encontra a desenvolver uma norma europeia BIM, confiada pelo IPQ (Instituto Português da Qualidade). Esta comissão é responsável pelo desenvolvimento de sistemas de classificação, modelação da informação e dos processos ao longo do ciclo de vida dos projetos na indústria AEC. O plano estratégico para esta mudança de paradigma, em relação à metodologia tradicional, apoia-se em fatores como a maturidade do cliente, competências e indústria, digitalização e inovação, informação e conhecimento, e sustentabilidade. A CT197 é a representante em Portugal da CEN/TC 442 (Comissão Técnica Europeia de Normalização BIM) (Aguiar Costa, n.d.)

A PTPC (Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção), que consiste numa catalisadora de processos de reflexão e implementação de novas práticas na construção, contribuindo desse modo para uma maior competitividade no mercado e cooperação entre empresas de uma forma sustentável. Esta Plataforma desenvolveu, entre outros, o GT BIM que constitui um grupo de trabalho dedicado ao desenvolvimento BIM em Portugal, representado por especialistas da área e docentes do ensino superior (PTPC, n.d.)

É de salientar ainda a participação do BIMClub no âmbito académico. Trata-se de um grupo de pessoas que promovem iniciativas de divulgação da metodologia BIM, tendo em vista a discussão e aprendizagem deste processo colaborativo junto das entidades formadoras do ensino superior, para que se possam formar profissionais na área, perspetivando a sua futura implementação (Azenha, Caires, & Lino, n.d.)

Mais recentemente a Building Smart Portugal, anteriormente discutido o seu papel global na indústria da construção, apresenta-se como uma instituição que pretende a normalização dos processos BIM em Portugal e respetiva modernização dos padrões atuais. Encontra-se aberta à contribuição de todas as entidades do setor construtivo, bem como às instituições académicas e de investigação, proporcionando um processo colaborativo, à imagem da *Building Smart International* (BuildingSMART, n.d.)

2.3 Da realidade à virtualidade

2.3.1 *Continuum*

Neste documento irá ser exposto o conceito de *Continuum* que se estende da Realidade à Virtualidade (Milgram, Takemura, Utsumi, & Kishino, 1994). Como é implicitamente demonstrado pela Figura 14, a amplitude deste conceito engloba dois campos essenciais para a conceção deste estudo - Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) - os quais se intersejam na sua designação com a Realidade Mista (RM).

Estas duas metodologias têm surgido com uma força enorme nos últimos tempos, embora com definições pouco consistentes e relativamente subjetivas. A RA traduz-se num aumento do *feedback* natural para a pessoa, com elementos virtuais sobrepostos ao mundo real, enquanto a RV transporta o ator para um mundo imersivo totalmente virtual. Outras definições atribuídas referem que dependem do tipo de ecrã que o mecanismo virtual possui. Se for transparente será tipicamente um indicador de RA, mas se for opaco indicará imersão, ou seja, o ator está envolvido numa RV (Milgram et al., 1994). A Realidade Mista (RM) surge pouco depois por Jaron Lanier na década de 90, em que se pode definir como uma experiência que mistura parte da realidade com a virtualidade (Li, Yi, Chi, Wang, & Chan, 2018). A taxonomia de Milgram (Milgram and Colquhoun, 1994) define ainda quatro níveis diferentes de RVC (Realidade Virtual *Continuum*) como conceitos baseados nas diferentes combinações que os sistemas eletrónicos podem obter, tal como demonstrado na Figura 14. Assume-se a RM como um termo coletivo, manifestando-se em ambientes de RV que se sobrepõem ao mundo real ou em inúmeras aplicações de RA. O que pode diferenciar a RV da RA como parte integrante de um processo contínuo, são o quanto as sensações visuais do mundo real se envolvem com o utilizador ou não, independentemente da imersão ou dos dispositivos de visualização (Li et al., 2018).

Embora a finalidade da RA e da RV seja comparativamente diferente, o mesmo não se pode dizer da sua definição ou dos seus benefícios, para além de subjetivos e amplos, acabam por se cruzar em certos pontos da sua exploração (Piroozfar, Essa, Boseley, Farr, & Jin, 2018). Em vez de serem expostos como antíteses será mais relevante vê-los como partes integrantes de um processo *continuum*, um mais próximo do real e o outro do virtual.

Desta forma, adota-se o termo Realidade Virtual *continuum* (RVC) sempre que se pretender referir ao conceito de um modo geral.

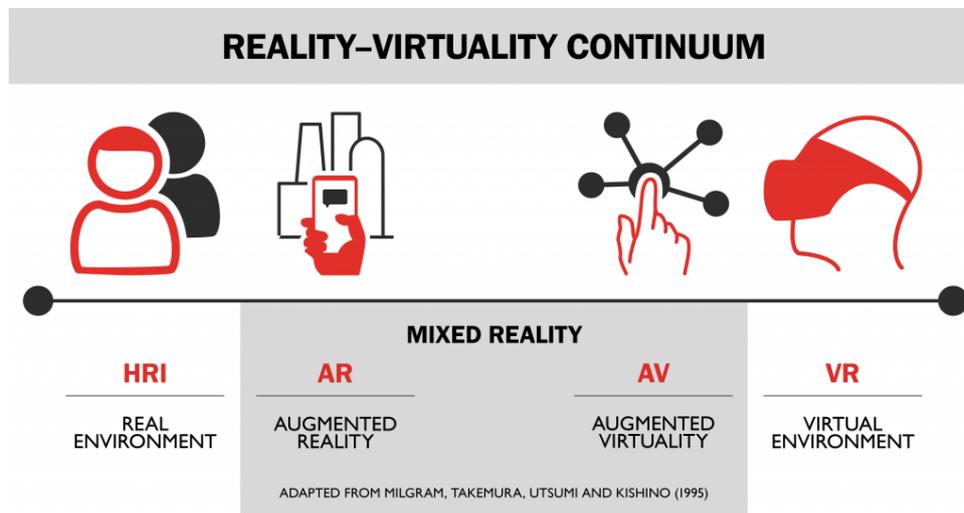


Figura 14 - Adaptado de *Reality-Virtuality Continuum* (Milgram et al., 1994)

2.3.2 Cronologia

A história da Realidade Virtual

Se olharmos a RV como um jogo de computador, uma simulação que nos dá a sensação de existirmos num espaço que realmente não estamos, então temos de recuar no tempo até ao século XIX para mergulhar em cenários históricos e interpretar as suas origens. Em 1821, Louis-Jacques-Mendé Daguerre, fazia pinturas em ambos os lados de um tecido de grandes dimensões com o propósito de nos encher o campo de visão e nos transportar para esses mesmos locais. Usava um espelho por cima das telas para conseguir efeitos de luz dando a sensação de movimento (Cunha, 2017). Com isto conclui-se que o objetivo é comum nestas duas épocas tão distintas, tornar-nos parte da ação.

Seguidamente, relatam-se os principais marcos na história da RVC:

- 1838 – Estereoscópio Vitoriano

Charles Wheatstone demonstrou que o cérebro humano processa uma imagem 3D a partir de duas imagens 2D acopladas, dando uma sensação de profundidade. Na altura era usado para uma espécie de turismo virtual, hoje em dia acaba por ser banalizado pelo *Google Cardboard*, que ainda assim partilha os mesmos princípios (Cunha, 2017)(Dinis, 2016).

- 1849 – Estereoscópio de Brewster

David Brewster obteve um resultado semelhante ao do compatriota Wheatstone, que segundo ele advém de um sucesso partilhado com Mr. Elliot, um matemático que concebeu o dispositivo anos antes. Brewster deu o seu contributo com a inclusão de lentes para unir imagens diferentes, sendo-lhe atribuída tal invenção (Cunha, 2017)(Virtual Reality Society, n.d.).

- 1929 – Link Trainer – Primeiro Simulador de Voo.

Edward Link criou o primeiro simulador de voo, totalmente eletromagnético. Consistia em motores ligados aos controladores de movimento. Um outro dispositivo tratava de imitar a turbulência. Este simulador foi responsável pela formação e treino de inúmeros pilotos do exército Americano naquela época (Virtual Reality Society, n.d.).

- 1950 – Sensorama

O cinematógrafo Morton Heilig desenvolveu a Sensorama, uma espécie de teatro dentro de uma cabine que permitia estimular vários sentidos, com a instalação de colunas stereo, exibição visual 3D, ventiladores, geradores de odores e uma cadeira vibratória. O objetivo consistia em oferecer ao individuo uma completa imersão no filme. Esta ideia viria a ser patenteada apenas em 1962 (Dinis, 2016)(Cunha, 2017).

- 1960 – Primeiro HMD em Realidade Virtual

Depois da criação da Sensorama, Morton Heilig revelou ao mundo o Telesphere Mask como primeiro exemplo HMD (*Head Mounted Display*) (Virtual Reality Society, n.d.).

- 1961 – Primeiro rastreador de movimento HMD

Comeau e Bryan, engenheiros da Philco Corporation desenvolveram o primeiro HMD como é conhecido hoje em dia (*Headset*). Este parêlo continha um ecrã de vídeo para cada olho e um sistema detetor de movimento magnético. O aparelho não foi criado com o intuito de ser aplicado à RV, mas

para simular situações de perigo para o exército. Neste momento era possível conectar os movimentos da câmara aos da cabeça, permitindo assim olhar o ambiente envolvente (Virtual Reality Society, n.d.).

- 1965 – Conceito “*Ultimate Display*”

“The Ultimate Display would, of course, be a room within which the computer can control the existence of matter. (...) With appropriate programming such a display could literally be the Wonderland into which Alice walked.”

Ivan Sutherland criou este conceito como uma simulação onde não se conseguiria distinguir a realidade virtual da realidade atual (Dinis, 2016)(Virtual Reality Society, n.d.).

- 1968 – *Sword of Damocles*

Ivan Sutherland e o seu estudante Bob Sproull criaram o primeiro HMD que combinava a RV com a RA, pela primeira vez conectado a um computador em vez de uma câmara. Impossível de ser usado por qualquer um, consistia num dispositivo de grandes dimensões e pesado, suspenso no teto e pouco confortável para o utilizador. O computador gerava gráficos muito primitivos de salas e objetos (Dinis, 2016)(Cunha, 2017).

- 1969 – Realidade Artificial

Myron Kruegere desenvolveu várias experiências às quais atribui o nome de “*Artificial Reality*” com um computador que gerava determinados ambientes que respondiam aos que nele habitavam. Ele desenvolveu vários projetos como o *GLOWFLOW*, *METAPLAY*, e *PSYCHIC SPACE* que ajudaram no desenvolvimento da tecnologia *VIDEOPLACE* (Dinis, 2016)(Cunha, 2017)(Virtual Reality Society, n.d.).

- 1987 – O Nascimento da Realidade Virtual

Este é um grande marco na história da RV, apesar de todo o seu conhecimento até então. Jaron Lanier fundou a *Visual Programming Lab* (VPL) e criou o termo Realidade Virtual (RV). Só neste momento passou a existir um nome para esta área de investigação. Foi na VPL que Jaron Lanier desenvolveu equipamentos como o Dataglove (parceria com Tom Zimmerman) e o HMD EyePhone. Surgiram assim como a primeira empresa a comercializar equipamento RV (Dinis, 2016)(Cunha, 2017)(Virtual Reality Society, n.d.).

- 1989 – Lançamento da Nintendo Power Glove (Dinis, 2016)

- 1991 – Virtuality Group

Já existem vários dispositivos de RV abertos ao público, mas ainda distantes de serem usados em casa como tecnologia de ponta. A Virtuality Group lançou vários jogos e aparelhos, que possibilitava aos jogadores usar o equipamento RV para jogarem em tempo real num ambiente totalmente imersivo, com opção de *multi-player* (Virtual Reality Society, n.d.).

Também neste ano foi criado o conceito de CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*), por intermédio de Daniel Sandin e Cruz-Neira, juntamente com outros colaboradores da área, no Electronics Visualization Laboratory (Dinis, 2016).

- 1993 – SEGA lança óculos RV.

Nesta altura a SEGA lançava uns óculos RV para serem usados com a consola SEGA GENESIS. Eles possuíam um detetor de movimento para a cabeça, som stereo e ecrãs LCD no visor. Este lançamento não passou da fase protótipo (Virtual Reality Society, n.d.).

- 1995 – Nintendo Virtual Boy

A Nintendo Virtual Boy foi uma consola de jogos 3D portátil que continha gráficos inovadores para a época. Este dispositivo não teve muito sucesso uma vez que apresentava vários defeitos, como a falta de cores no grafismo, falta de suporte no *software* e pouco conforto, portanto a sua comercialização foi interrompida (Virtual Reality Society, n.d.).

- 1999 – The Matrix

Sobejamente conhecido pela sua espetacularidade, o filme The Matrix dá conta de um mundo completamente simulado para onde as personagens são enviadas sem noção de que não habitam um mundo real.

Apesar de alguns filmes retratarem esta temática, The Matrix foi o que mais impacto cultural obteve na discussão de uma realidade simulada, ou noutros termos, RV (Virtual Reality Society, n.d.).

- Século XXI

Nestas quase duas primeiras décadas, muitos e rápidos têm sido os avanços da tecnologia, oferecendo enorme suporte e rápido desenvolvimento no conceito da RVC. O aparecimento dos *smartphones* e suas capacidades gráficas conduziram um avanço contínuo desta temática, assim como a indústria de jogos que com o passar do tempo permitiu aos utilizadores ter uma experiência cada vez mais imersiva e segue nesse sentido como uma das principais impulsionadoras do ramo (Dinis, 2016)(Virtual Reality Society, n.d.).

Recentemente empresas como a Google lançaram produtos para serem conduzidos através dos *smartphones*, como o Google Cardboard, ou ainda a Samsung, que com o objetivo de oferecer controlo gestual ao utilizador desenvolveu o Galaxy Gear (Virtual Reality Society, n.d.) (Dinis, 2016).

Vive-se uma época em que o salto para a mudança definitiva pode ser dado, por isso, é necessário preparar conteúdos para a afirmação tão aguardada da RVC. Algumas respostas têm sido dadas a este desenvolvimento promissor dos HMD's, como o Oculus Rift, adquirido pelo Facebook em 2014, que competem com produtos, como os HTC da Valve Corporation, e outros de grandes empresas como a Microsoft, Samsung, Sony Computer Entertainment (Dinis, 2016)(Virtual Reality Society, n.d.). Estes dispositivos são explorados numa outra fase da dissertação com a merecida análise.

Por último convém salientar o lançamento em 2016 do *Microsoft HoloLens*, um *Headset* que combina dois mundos (RV e RA) resultando assim a Realidade Mista (RM) (Microsoft, 2016).

2.3.3 Realidade Virtual

2.3.3.1 Definição do conceito

A Realidade Virtual (RV) é uma simulação num ambiente totalmente imersivo do mundo real. É uma experiência que envolve o utilizador com componentes gráficas 3D geradas por um computador em tempo real (Palhares Rodrigues & de Magalhães Porto, 2013)(Li et al., 2018). Existem outras opiniões em volta do conceito de RV, tais como: uma realidade que não existe (Bamodu & Ye, 2013), um clone do mundo físico, a agregação de todas as tecnologias necessárias como parte do conceito, uma ilusão de participação num mundo artificial (Mazuryk & Gervautz, 1991), entre muitas outras.

É uma relação entre o Homem e a máquina, que combina a computação gráfica, processamento de imagens, reconhecimento de padrões, sistema de som, inteligência artificial, trabalho colaborativo, proporcionando interatividade com a envolvente cujo feedback conduzido para os canais sensoriais dá a sensação de presença no mundo virtual (Bamodu & Ye, 2013).

Apesar das mais diferentes opiniões sobre um conceito que ainda tem muito para ser explorado, pode-se dizer que todas elas consistem em interatividade e imersão num ambiente virtual que deverá apresentar autonomia. Em 1992, David Zeltzer (Mazuryk & Gervautz, 1991) elaborou com base nestas premissas um gráfico (Figura 15) para a avaliação no nível de avanço dos sistemas de RV.

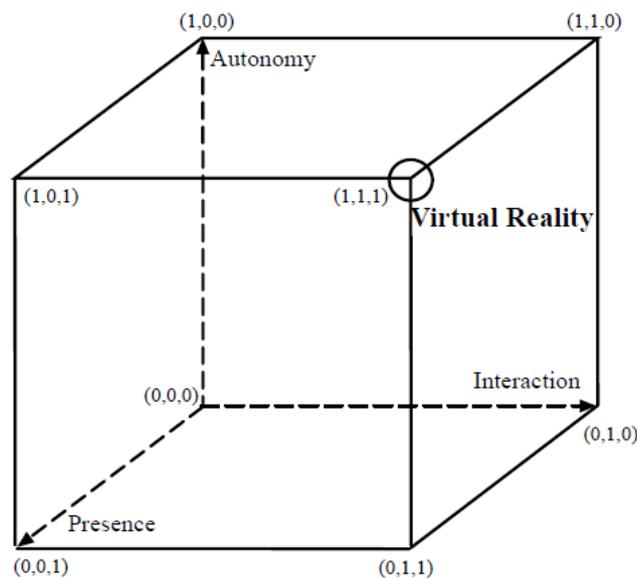


Figura 15 - Cubo de Zeltzer (Mazuryk & Gervautz, 1991)

Quando se fala de RV é importante considerar dois cenários, a telepresença e o ciberespaço. São termos que sustentam uma definição um pouco diferente da noção que existe sobre os mesmos hoje em dia (Mazuryk & Gervautz, 1991).

A telepresença atua na RV quando os manipuladores, no local de trabalho, tem sensibilidade suficiente para que o seu operador execute as suas tarefas normalmente, ou na estação de controlo, quando o operador recebe *feedback* sensorial de grande qualidade para que sinta imergido no local de trabalho (Mazuryk & Gervautz, 1991). Hoje em dia pode-se interpretar este conceito com o papel que um *drone* pode desempenhar ou então uns óculos de RVC.

Por outro lado, o ciberespaço foi retratado, principalmente até ao aparecimento da Internet, como uma espécie de alucinação consensual diariamente experienciada por grande parte dos trabalhadores, pois não existia a tecnologia de comunicação atual (Mazuryk & Gervautz, 1991).

Pelo trabalho colaborativo que a metodologia RVC defende, os cenários expostos são conceitos determinantes para o seu correto desenvolvimento.

Os sistemas de RVC podem ser classificados em não-imersivos, imersivos e semi-imersivos, de acordo com o seu nível de imersão e tipos de componentes utilizadas nesses sistemas (Bamodu & Ye, 2013):

- **Não imersivos:** São o mais básico que pode ser usado para uma experiência de RVC, permitindo ao seu utilizador que interaja com o seu ambiente 3D através de monitores (como o computador, *tablet* ou *smartphone*) ou ainda algum tipo de óculos de RVC (*Headsets*) e outras ferramentas mais básicas. Resumidamente, não existe uma imersão completa no espaço virtual;
- **Imersivos:** são o mais avançado e mais dispendioso tipo de sistemas de RVC. Estes requerem o mesmo tipo de componentes dos não-imersivos, mas com um nível de sofisticação e correspondente qualidade superiores, permitindo ao utilizador sentir-se totalmente imerso no ambiente 3D. A sua aplicação atualmente mais conhecida na indústria da construção é o efeito de caminhar dentro de um edifício virtual (*walk-through*);
- **Semi-Imersivos:** estes sistemas remetem para um uso do conceito de RVC numa outra vertente, que irá ser devidamente discutida adiante. Tratam-se de sistemas de Realidade Aumentada (RA).

2.3.3.2 Benefícios da Realidade Virtual *Continuum*

A RVC é cada vez mais uma metodologia emergente na atualidade e oferece benefícios em várias áreas. É um meio que engloba espaço e comunicação, que concede uma melhor interpretação do projeto de construção e processos relacionados. A RVC é usada para explorar melhorias na fase projeto, para a simulação de algumas atividades da construção, revisões de projeto, comunicação de conteúdos entre os intervenientes ou deteção de conflitos. Estes incrementos levam a reduções de custos, minimização de riscos e precoce deteção de erros (Woksepp, 2007).

Um protótipo virtual beneficia muito da informação que um modelo 3D pode oferecer e mais ainda se esse modelo puder transmitir informações de planeamento da obra, melhorando a colaboração entre equipas e permitindo análises aos utilizadores. Esse é o papel da modelação a quatro dimensões (4D) e a sua exploração potencia uma série de aplicações da metodologia RVC. Apesar das vantagens neste modelo, ainda existem entraves para o seu aproveitamento total, tipicamente porque contém uma quantidade elevada de informação. Posto isto, muitos esforços têm sido feitos para a realização de um ambiente 4D integrado que suporte uma vasta quantidade de análises ao espaço de trabalho, fluxos e recursos (Woksepp, 2007).

O potencial da RVC para a construção tem-se revelado determinante essencialmente nas fases de conceção do projeto e da edificação. Desse benefício resultou o sistema “*walk-through*” como o primeiro conceito a usufruir desta metodologia na indústria da construção. Assim, durante a fase de conceção do projeto, através de um *Headset*, o cliente consegue visualizar o resultado final do edifício, muito antes do início dos trabalhos. Este conceito será devidamente examinado numa fase posterior, aquando da análise entre RV e RA, como integrantes do conceito *continuum*, com a influência do BIM. Outras aplicações surgiram por força da RVC, com influência nas seguintes áreas (Bouchlaghem & Liyanage, 1996):

- Na fase de projeto: modelação do espaço, *design* de interiores, iluminação do espaço, redes AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), ergonomia e requisitos funcionais, avaliação de risco de incêndio e planeamento urbano;
- Na construção: planeamento do local da obra, planeamento e supervisão dos processos construtivos, e avaliação e identificação de cenários distintos no método construtivo.

2.3.4 Realidade Aumentada

2.3.4.1 Definição do conceito

A Realidade Aumentada (RA) é uma imitação do mundo real em que é possível incluir elementos virtuais. O utilizador encontra-se envolto de um ambiente criado com base num computador em que as componentes se sobrepõem ao mundo real. A RA iniciou-se na indústria do entretenimento como um modo de jogo alternativo, mas devido ao seu potencial instrutivo, assegura um papel importante para a indústria AEC e sistemas educativos (Behzadi, 2017).

Esta metodologia satisfaz a perceção humana ao ponto de obter informações reais de um protótipo virtual incluído no mundo real, oferecendo um maior equilíbrio entre o virtual e o real, ao contrário da RV que imerge o utilizador num cenário totalmente virtual (Figura 16).



Figura 16 - Realidade Aumentada: Visualização com Tablet

2.3.4.2 Benefícios da Realidade Aumentada

À imagem da RV, a RA influencia as mesmas áreas e momentos da construção, sendo que esta última se trata de um sistema semi-imersivo e por consequência a sua aplicabilidade oferece soluções diferentes. Com a possibilidade de ver um modelo final sobreposto a um campo vazio, a RA traz muitos benefícios à indústria AEC, o que configura um modo de aprendizagem inovador. Desta forma permite que o utilizador, seja ele muito experiente ou não, detete erros de projeto no modelo 3D antes que eles ocorram, num ambiente seguro, sem riscos e em tempo real (Behzadi, 2017).

Na parte de montagem em estaleiro, a RA permite que o utilizador compare o que já foi contruído com a estrutura final, permitindo acompanhar a evolução da obra. É possível estimar o trabalho realizado no local com o cronograma de trabalho inicialmente proposto, suprimindo outros modelos 3D ou o uso do diagrama de Gantt. A RA permite que a indústria adote a sua aplicação para elaborar projetos de maior complexidade, uma vicissitude implícita nos dias de hoje (Behzadi, 2017).

A informação e a comunicação são elementos essenciais para o sucesso de qualquer projeto, pois permitem aos seus gestores que tomem decisões corretivas de forma a evitar custos acrescidos e a reduzir atrasos no decorrer de todo o processo, aumentando a eficiência na gestão da mão-de-obra. Para facilitar a interpretação/visualização do projeto no local da obra, algumas empresas estão a desenvolver dispositivos móveis mais leves com o objetivo de projetar o modelo 3D e informações relacionadas, a partir de aplicações de RA, com base na localização do utilizador. Estas permitem tirar conclusões com maior segurança e compreensão do modelo através do seu modo de visualização, agilizando a comunicação. Ainda existem alguns barreiras devido à natureza conservativa na indústria da construção de um modo geral e devido ao tamanho excessivo dos modelos, mas apresenta grande potencial (Behzadi, 2017).

Na indústria da construção é essencial a segurança dos trabalhadores envolvidos, principalmente *in situ*, destacando-se como uma das prioridades do setor. Em termos de custo, os equipamentos da RA são consideravelmente pouco dispendiosos, pois podem variar de um dispositivo ou sistema de alta qualidade a um *smartphone*, assegurando em ambas as situações elevada fiabilidade. A maior parte das aplicações de RA são classificadas como muito eficientes no que diz respeito à segurança, pois executam vários exercícios de treino ou cenários específicos que concedem a sensação real do potencial perigo, otimizando a instrução dos utilizadores/trabalhadores (Behzadi, 2017).

2.3.5 Hardware e software

Para o desenvolvimento de um sistema de RVC é necessário considerar dois grupos de grande relevo: *Hardware* e *software*. Existem ainda a componente algorítmica, mas considera-se esta como constituinte do sistema de *software* e não como membro independente (Li et al., 2018).

De uma forma mais clara, estes dois sistemas são explorados segundo a adoção do próximo esquema, apresentado na Figura 17.

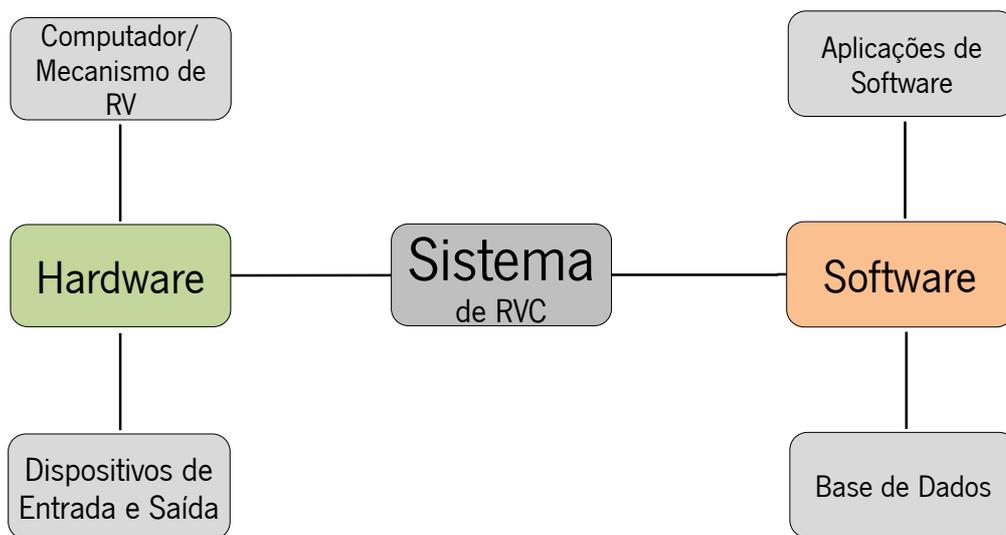


Figura 17 - Sistema de Realidade Virtual continuum, adaptado de (Bamodu & Ye, 2013)

2.3.5.1 Hardware

Dispositivos de entrada e saída:

Os dispositivos de entrada são aqueles que possibilitam ao utilizador a interação com o mundo virtual. Estes permitem ler os movimentos, enviando esses sinais ao sistema para que forneça ao utilizador as reações devidas, através dos dispositivos de saída em tempo real. Podem ser mecanismos de localização, controladores biológicos, dispositivos áudio, entre outros. Os dispositivos de localização ou sensores de posição são usados para interpretar o posicionamento do utilizador e podem incorporar sensores

eletromagnéticos, ultrassônicos, mecânicos, óticos, luvas de dados, controladores neurais ou musculares (Bamodu & Ye, 2013; Palhares Rodrigues & de Magalhães Porto, 2013).

A comunicação através da voz é um dos principais e mais primitivos meios de interação, portanto a sua inclusão num sistema de RVC é natural para aproximar a experiência virtual à realidade e para esse fim existe *software* de processamento e reconhecimento de voz (Bamodu & Ye, 2013).

Os dispositivos de saída despertam os sentidos do utilizador através do *feedback* recebido pelo mecanismo de RVC em utilização. Estes podem ser interligados com os sentidos que o Ser Humano possui, que devem ser estimulados para uma melhor experiência imersiva. O sentido visual alimenta-se da componente gráfica, a audição é satisfeita com um bom sistema áudio, o háptico através do contacto ou força relativa ao dispositivo em uso, e por último o olfato e o paladar, que são ainda uma prática pouco comum no desenvolvimento da RVC, especialmente na construção (Bamodu & Ye, 2013).

Os dispositivos mais comuns de saída são os monitores digitais, como modo de visualização simples, ou os óculos de RV (HMD's), que são os responsáveis por uma experiência mais ou menos imersiva, quando interpretada no conceito de *continuum* (Bamodu & Ye, 2013) (Milgram et al., 1994).

Computador/Mecanismo de RVC:

A seleção de um mecanismo ou motor de RVC adequado deve seguir os requisitos das aplicações que se pretendem realizar. O processamento gráfico para a geração de imagens é um fator de grande importância na conceção do realismo que a aplicação final irá apresentar, mas por outro lado é uma das tarefas de maior consumo num sistema de RVC. A escolha de tal engenho deve ser feita de acordo com as ambições do utilizador, o local de aplicação, dos dispositivos de entrada e saída, nível de imersão, renderização de objetos, iluminação, entre outros. O motor de RVC pode ser um computador comum com algumas adições a nível de processamento e gráfica, ou sistemas de computadores interligados através de uma rede de alta velocidade (Bamodu & Ye, 2013). De seguida serão apresentadas com maior detalhe as componentes que devem ser asseguradas aquando da composição de um mecanismo de RVC, tendo em conta alguns HMD's atuais. De notar que as considerações que se seguem são tecidas de acordo com os requisitos exigidos no desenvolvimento do mundo dos videojogos, pois como se baseiam nos mesmos motores de jogo utilizados para construir programas de educação e treino na construção (P. Wang et al., 2018), revelam-se um bom termo de comparação pela sofisticação que lhes está associada.

GPU (Graphics Processing Unit) – Trata-se da unidade de processamento gráfico e é a componente mais importante no desenvolvimento de aplicações RVC. Se for pretendida uma experiência virtual o mais realística possível, requer-se um processamento gráfico que satisfaça tal necessidade. Para sustentar essa afirmação, recorreu-se à interpretação dos requisitos expostos por empresas produtoras de dispositivos RVC, como a *Oculus* (Oculus, n.d.). Esta recomenda um processamento gráfico de 90 FPS (*frames per second*), quando o normal seria entre 30 a 60 FPS num computador comum. A GPU sugerida é a NVIDIA GTX 970 ou a AMD R9 390 (ou 290), definidas como parâmetro mínimo para uma experiência virtual completa. Mais opções seriam válidas, mas consideramos este como um ponto de equilíbrio entre todas (Logical Increments, 2018).

CPU (Central Processing Unit) - Exerce a mesma função que o cérebro humano, na medida em que é responsável por fornecer instruções. Mais uma vez, tomou-se o exemplo da *Oculus* que aponta como requisitos mínimos o modelo Intel i5-4590 (ou Intel i3-8100) para um correto desempenho do sistema. Em contraposição um dos melhores processadores a ter em conta é o Intel Core i7-7820X (Logical Increments, 2018).

RAM (Random Access Memory) – Resumidamente, consiste na memória que qualquer sistema computacional precisa para armazenamento de programas primários e leitura de dados, muitas das vezes responsáveis pela demora de processamento de um computador quando cheia ou próxima. Uma das vantagens desta componente é o facto de ser relativamente pouco dispendiosa e de adição fácil. Para o desenvolvimento RVC, a *Oculus* indica um mínimo 8GB mas em alguns casos mais exigentes seria prudente considerar 16GB (Logical Increments, 2018).

Storage – Diz respeito não só a armazenamento, como também a leitura/escrita de conteúdos. Até aos dias de hoje apresentado no formato de HDD (*Hard Disk Drive*), conhecido por disco rígido, tem perdido alguma força com o surgimento dos SSD (*Solid-State Drive*). O que faz deles tão importantes para o mundo RVC é o aumento da velocidade de resposta do computador, ou seja, em comparação ao modelo tradicional confere uma melhor leitura/escrita aquando da utilização de ficheiros pesados, oferecendo em efeitos práticos um desempenho mais fluído ao utilizador. Poderá ser visto como um suplemento e não uma imposição (Logical Increments, 2018).

Motherboard - É a base de todo o *hardware* que incorpora um computador. Apenas de salientar que se devem garantir um considerável número de entradas USB para conectar dispositivos RVC, como os HMD's, câmaras, controladores de movimento, entre outros (Logical Increments, 2018).

PSU (Power Supply Unit) - Dispositivo eletrônico que ajuda a controlar alguns picos de energia, convertendo a corrente elétrica para a voltagem certa, o que para os elevados consumos no desenvolvimento RVC atribui uma maior segurança. Para a necessidade de incluir mais placas gráficas no sistema, que são uma das maiores fontes de consumo num computador, é essencial a PSU certa (Logical Increments, 2018).

Estas são algumas das necessidades básicas e outras menos, visto que só terão relevância se a intenção for beneficiar apenas dos requisitos mínimos, os quais foram explanados anteriormente. Para uma empresa com algum capital não será necessário ter em atenção todos eles, com a exceção da placa gráfica, processador e memória RAM. Garantindo qualidade elevada nestes três, os restantes passam a ser vistos como obsoletos e um simples extra.

Para além das máquinas físicas, que são os computadores, deve-se ainda considerar outro tipo de material essencial a uma experiência virtual. Os *headsets* ou óculos de RV ocupam um papel determinante para desencadear a viagem que imerge o ator no cenário, pois ele é a personagem principal deste “jogo”. Objetiva-se no mundo da construção utilizar este conceito para instruir e auxiliar as equipas nas várias fases de uma obra, em qualquer que seja a sua necessidade (Li et al., 2018).

O papel dos HMD's na Realidade Virtual

O elemento mais importante para ter uma experiência em RVC é o *headset*, também conhecido por HMD (*Head Mounted Display*) ou simplesmente óculos de RV. Consiste num dispositivo que é colocado em frente dos olhos do utilizador e que se apoia na cabeça. Existem muitas versões destes sistemas, mas de um modo geral aqueles que são mais dispendiosos e apresentam elevada sofisticação carecem do recurso a um computador para executar determinadas aplicações, enquanto outros mais modestos usam um *smartphone* colocado na parte frontal do *headset*. Alguns destes não possuem sistema áudio incorporado, sendo que é aconselhável o uso de boa qualidade neste equipamento, assim como de outros extras como os controladores manuais, para enriquecer a experiência imersiva. A escolha destas ferramentas deve ser feita em concordância com as ambições do utilizador quanto ao nível de imersão pretendido. A maior parte destes HMD's integra a própria loja de aplicações, semelhante às dos *smartphones*, gerando um ambiente intuitivo onde é facultado o acesso às mesmas. No entanto, existem aspetos a ser melhorados, como o olfato e o paladar, para tornar a experiência cada vez mais real. A atual visão da RVC iniciou-se com Palmer Luckey aquando da criação dos Oculus Rift (Dredge, 2016).

Existe uma série de empresas que desenvolvem conteúdos e produzem ferramentas de suporte à metodologia RVC. Posto isto, apresentam-se alguns exemplos de *headsets* que transportam o utilizador para experiências virtuais, sejam elas de Realidade Virtual, Realidade Aumentada ou Realidade Mista.

- Exemplos de HMD de Realidade Virtual

Oculus Rift: O Oculus Rift oferece, para além de conforto e leveza, um sistema de áudio que envolve totalmente o utilizador no cenário RV, com controladores manuais que permitem uma interação bastante intuitiva. Outra componente importante é o realismo envolvente na experiência virtual e os Rift apresentam uma qualidade gráfica elevada, sendo possível percorrer ambientes virtuais em 360° (Oculus, n.d.).

Samsung Gear VR: Este dispositivo foi concebido em parceria com a Oculus e combina os dois mundos referidos anteriormente. No formato físico assemelha-se ao Oculus Rift, mas na componente prática ao Oculus Go. Trata-se de um aparelho desenvolvido para interação com dispositivos móveis e a sua própria

plataforma de interação permite ao utilizador, não só ter experiências RV, como também comunicar com outras pessoas em tempo real (Oculus, n.d.).

HTC Vive Pro: A chave desta parceria entre a HTC e a Valve é a criação do HTC Vive Pro, uma versão melhorada e a pensar nas empresas. Este é o HMD do ano de 2018, justificado pelas melhorias em relação ao Vive original a nível gráfico, a não necessidade de fios e conforto e formato otimizados. Em paralelo foram produzidos programas de instrução e treino para empresas que queiram trabalhar a versão Pro (Valve/HTC, n.d.).

HMD de Realidade Mista

Microsoft HoloLens: A Microsoft desenvolveu um HMD de Realidade Mista, que combina a Realidade Virtual e a Realidade Aumentada num só, ou seja, permite que os elementos virtuais criados interajam com a nossa realidade. Permite tarefas como a captação de imagens ou vídeos no local da obra, a deteção de interferências do modelo virtual com elementos físicos existentes à escala real *in situ*, ou instruções de como determinado serviço deve ser executado possibilita uma maior confiança e segurança ao utilizador (Ltd COMIT Projects, 2017).

Foram ainda desenvolvidos alguns conteúdos para o trabalho em grupo e comunicação dentro de empresas, criando assim novas metodologias de trabalho que podem resolver problemas mais eficácia, reduzindo tempo e custos. (Microsoft, n.d.).

HMD de Realidade Aumentada

Vuzix M300: Este dispositivo foi desenvolvido quase como uma extensão de um smartphone e apresenta-se como um sistema de mãos livres de Realidade Aumentada. Em contraposição aos dispositivos anteriores mencionados, a experiência ocorre numa só lente, mas o conceito é o mesmo, fomentar melhores práticas em qualquer trabalho. Este dispositivo contém conexões Bluetooth e ligação Wi-Fi que o integram muito mais rapidamente no fluxo de trabalho, reconhecimento de voz e controlo gestual, o que o torna uma ferramenta adaptável (Vuzix Corporation, 2016).

Google Glass: Um *headset* de RA com reconhecimento de voz, gerado para melhorar a metodologia de trabalho das mais variadas indústrias e setores, sendo possível aceder a listas de instrução no local de

como determinada tarefa deve ser executada ou tutoriais de treino, com a particularidade de poder partilhar a visão em tempo real através de vídeo, discutem-se ideias e tomam-se decisões em conjunto com os colaboradores (Glass/Google, n.d.).

2.3.5.2 *Software*

O *software* utilizado para o desenvolvimento da RVC na construção contempla um conjunto de programas de desenho/modelação e desenvolvimento de ambientes virtuais, assim como uma base de dados onde toda a informação de um projeto possa ser alocada (Bamodu & Ye, 2013).

Ferramentas de Modelação para RVC:

Entre as ferramentas mais comuns encontram-se 3DSMax, Sketchup, Rhino, ArchiCAD, Autodesk Revit, Unity, Unreal Engine, entre outros (Cunha, 2017). Para aplicações relacionadas com a Engenharia de um modo mais específico existem ainda *software* como CATIA ou o Solidworks (Bamodu & Ye, 2013). No caso específico do Grupo Shay Murtagh, o departamento de projeto recorre a *software* de modelação como o Tekla Structures ou o Autodesk Revit, que permitem a gestão de um edifício quando agregados a um sistema de RVC por intermédio da metodologia BIM (P. Wang et al., 2018).

Ferramentas de Desenvolvimento para RVC:

A RVC é uma tecnologia com um grau de complexidade relativamente elevado na sua conceção, pois requer a interpretação de várias ferramentas e competências, para que a experiência virtual seja possível. Fala-se de computação gráfica 3D em tempo real, dispositivos de localização, processamento áudio e háptico, sendo que o desenvolvimento do seu *software* deve ser flexível para que satisfaça um maior número de necessidades nas mais diversas áreas. Começar o desenvolvimento de uma aplicação de RVC a partir de códigos de programação em C/C++, Java ou OpenGL, exige um trabalho excessivo e por vezes desnecessário para alguns utilizadores, daí o papel tão importante das ferramentas de desenvolvimento para RV. A escolha dessas ferramentas deve ser cuidadosa devida às diferenças que existem entre programas, pois podem não suportar certos formatos dos modelos em uso ou apresentar incompatibilidades com dispositivos de entrada e saída (Bamodu & Ye, 2013).

As ferramentas usadas para a criação de conteúdo em RVC incidem em ferramentas de criação do mundo virtual, *VR toolkits* (conjunto de ferramentas para RV), SDK (*Software Development Kits*), que remete para o desenvolvimento de *software*, ou ainda as APIs (*Application Program Interfaces*) já explicados anteriormente, como o exemplo do OpenGL e API Java 3D (Bamodu & Ye, 2013).

Existem ainda outras considerações a ser tecidas sobre o progresso no *workflow* entre as ferramentas de desenvolvimento e as de modelação de RVC.

A WakinApp, a par da Autodesk, tem desenvolvido plataformas para não programadores, que permitem que o utilizador consiga importar facilmente modelos de outros tipos de *software* de modelação como o Fusion 360 ou o Autodesk Revit através de um *add-in* intitulado de Entiti (Autodesk, 2017)(WakingApp, 2016).

Várias fornecedoras de *software* têm criado sinergias com empresas de motores de *gaming*, como a Unity, para desenvolver a interoperabilidade entre plataformas, para que seja possível importar modelos em vários formatos de *software* diferenciado (Autodesk Revit, VRED, Shotgun, 3DSMax, ou Maya) diretamente no Unity, com o intuito de evitar falhas na troca de informação entre eles, tornando assim o trabalho entre plataformas mais eficientes (Unity & Autodesk, 2018). No ano de 2018 o Unity estabeleceu parcerias de grande relevo para o importação direta de ficheiros CAD e tipologia BIM no seu motor de jogo com a Pixyz e a Tridify Convert, (Caitlin W, 2018; Edward Martin, 2018)\.

Outras ferramentas de suporte de RVC, cada vez mais imergentes a salientar são a Trimble Connect ou o Microsoft Layout. Com recurso a certos dispositivos de saída, como simples monitores ou HMD's, estas ferramentas permitem aceder a modelos e explorá-los em tempo real. É possível através das suas plataformas analisar o modelo em toda sua extensão de forma detalhada, compreendendo planeamentos, tarefas a ser executadas ou a atualização imediata da informação relativa à obra (Trimble, n.d.).

Um das especificidades do Microsoft Layout é o uso exclusivo da RM com os Microsoft Hololens, que para além de permitir a análise detalhada de um modelo como muitos dos seus concorrentes de mercado, permite a comunicação entre membros do projeto, com partilha visual do modelo até à escala real se necessário, em tempo real, permitindo tomar decisões com maior eficácia (Microsoft, 2018).

A Figura 18 resume de certa forma a importância do *software* no desenvolvimento da RVC, com a previsão do seu investimento num futuro próximo, onde a engenharia representa uma boa percentagem do gráfico.

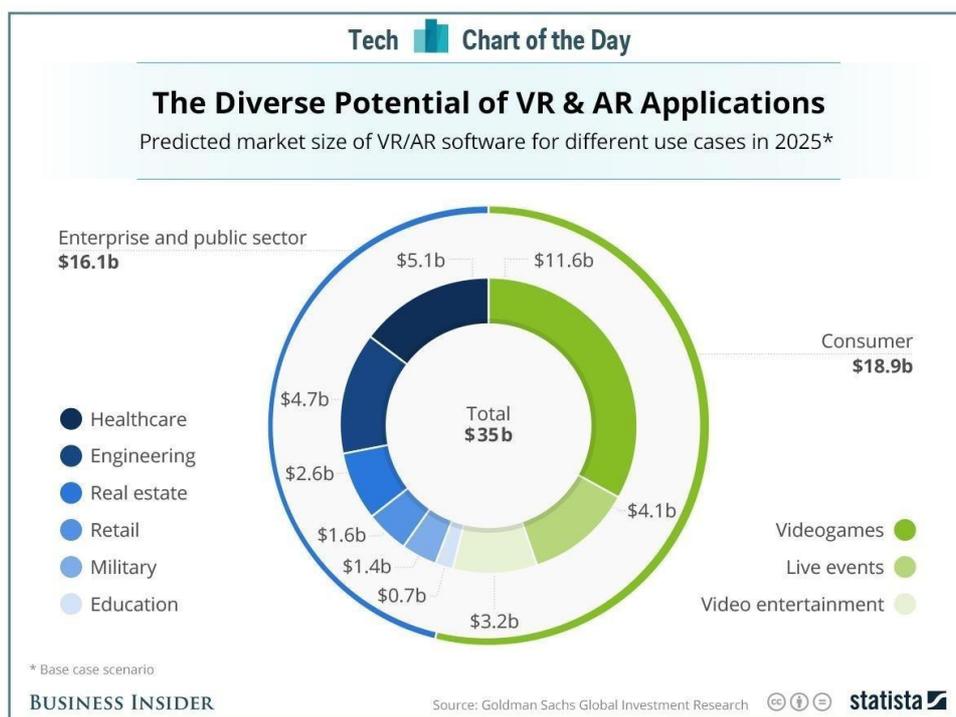


Figura 18 - Software RV e RA no futuro (Felix Richter, 2016)

Unity

O Unity é um motor de jogo que permite a criação de ambientes virtuais. A história começa em 2002 pela mão de Nicholas Francis, um programador Dinamarquês, a quem mais tarde se juntou o alemão Joachim Ante e o islandês David Helgason, para o desenvolvimento do *software*. Desde muito cedo que as suas ambições passava pela criação de jogos, mas isso levou-os mais além e acabaram por desenvolver uma poderosa ferramenta para os criar, tornando-se um *software* dos mais usados na indústria dos videojogos da atualidade (Haas, n.d.). Uma das razões mais relevantes para o sucesso do Unity ao longo dos tempos foi o constante suporte dado por desenvolvedores independentes que não tinham possibilidades financeiras para obter uma licença que lhes permitisse trabalhar com este tipo de tecnologia. Com outro nível de maturação, fizeram algumas experiências numa fase beta do *software* para corrigir alguns erros e melhorar o produto antes do seu primeiro lançamento em 2005, o Unity 1.0. Numa versão posterior foram adicionados *plugins* de programação em C/C++ para suporte externo, possibilitando aos desenvolvedores independentes que usassem *hardware* e *software* não suportado pelo Unity. A contínua evolução do Unity foi trazendo novas formas de trabalhar o conceito, até que em 2010

e com mais de 200,000 desenvolvedores registados na sua plataforma se tornaram no maior engenho para propósitos educacionais e a tecnologia mais usada em plataformas móveis (Haas, n.d.).

O Unity ostenta várias vantagens que lhe conferem um estatuto considerável nos dias de hoje, como um dos motores de jogo mais usados em todo o mundo. É um *software* de fácil aprendizagem, também pelo suporte que lhe é auferido, e permite um desenvolvimento rápido de aplicações, especialmente para plataformas móveis. Pela grande comunidade que o Unity possui, é possível aceder a fóruns de discussão que facilitam a sua compreensão (Šmíd, 2017).

Para interpretar melhor o conteúdo desta ferramenta, é necessário recolher conceitos intrínsecos à modelação em 3D presentes no Unity (Goldstone, 2011), que se descrevem seguidamente.

Coordenadas: A posição dos objetos na modelação 3D do Unity, bem como as suas dimensões e valores rotacionais, aparecem sobre o formato de X, Y, Z, conhecidas como coordenadas.

Espaço Local e Espaço Global: Estas duas definições são de enorme relevo na conceção de modelos 3D, pois como espaço virtual infinito, é essencial perceber a localização dos objetos. Posto isto, o ponto de origem (ou simplesmente origem) é algo intrínseco ao mundo 3D e representado sob a forma (0,0,0). A posição global de um objeto é sempre relativa à origem, embora o Unity também use o espaço local para definir a posição de um objeto em comparação com outro. Este motor de jogo define as relações entre objetos como “pai e filho” que são estabelecidas ao arrastar um objeto para dentro de outro no campo *Hierarchy*. Se o objeto “filho” estiver na mesma posição global do objeto “pai”, a sua posição será (0,0,0), mesmo que o “pai” não se encontre no ponto origem. Significa isto, que qualquer que seja a posição do objeto “pai”, ela será a nova origem do “filho”.

Vetores: o papel dos vetores neste contexto permitem ao utilizador calcular distâncias, ângulos entre objetos e a direção dos mesmos.

Câmaras: As câmaras no mundo 3D atuam como janelas de exibição do cenário a ser construído que aparece no ecrã do computador e posteriormente nos dispositivos a ser utilizados.

Elas podem ser colocadas em qualquer ponto do cenário, como uma componente animada ou vinculadas a objetos como parte de um cenário de jogo.

Polígonos e suas componentes: Os polígonos representam todos os objetos utilizados na modelação 3D, como um conjunto de formas 2D interligadas. Ao importar os modelos para o Unity, este converte-os num aglomerado de triângulos poligonais. Quando estes são combinados com outros polígonos denominam-se de *meshes*, sendo possível a criação de formas complexas. Com o conhecimento dos limites do modelo, o motor de jogo está apto a calcular pontos de impacto (*collisions*), aproximando a virtualidade da realidade.

Materiais e suas componentes: Os materiais são práticas comuns nas aplicações 3D, pois são estes que definem a aparência de determinado modelo. Por exemplo, quando é colocado um efeito de reflexo num objeto, ele irá refletir a envolvente, mantendo a sua cor e textura. Existe ainda a possibilidade de usar *scripts* concebidos por desenvolvedores do Unity e aplicá-los em materiais de acordo com as pretensões do utilizador, isto é, o efeito que se pretende dar a um objeto poderá ser enriquecido, reciclando outros já existentes pela comunidade do Unity.

Componentes Físicas: fornecem um comportamento simulado do mundo real aos objetos constituintes de um modelo, usualmente denominadas como *Rigidbody Physics component*. Isto significa que em vez de existirem objetos estáticos no ambiente virtual, eles podem assumir propriedades como massa, gravidade, velocidade e fricção. O desenvolvimento de *software* e *hardware* são forças ativas para um melhor comportamento.

Conceito de *Game Object*: é o controlo que existe sobre os objetos integrantes de projeto no Unity. Eles possuem uma vasta gama de componentes (*Component*) que lhes confere um certo comportamento no ambiente virtual. As componentes têm *variáveis* (*Variables*), propriedades que refinam o comportamento do objeto. O *GameObject* corresponde a qualquer modelo ou objeto ativo no cenário em desenvolvimento.

***Assets*:** é o local onde todos os ativos do projeto se encontram. Desde texturas, materiais, modelos 3D a efeitos sonoros. O Unity refere-se a este tipo de ficheiros como *Assets*.

***Scenes*:** Os cenários no Unity funcionam como áreas de jogo individuais onde o conteúdo será inserido para desenvolver a aplicação final.

Scripts: São considerados como componentes pelo Unity e permitem alterar certos comportamentos no conteúdo do cenário. Como linguagem de programação usa-se o *CSharp (C#)* e o *Javascript*. Após algum estudo, será simples escrever os scripts mais básicos, mas é algo ameaçador para novos utilizadores ou desenvolvedores que pretendam algo mais técnico.

Animation: Permite criar um vídeo simplesmente movendo os objetos em tempo real. Por exemplo, determina-se que um objeto que esteja aos zero segundos no ponto (0,0,0) e pretende-se que aos dez segundos esteja no ponto (1,0,0). Na janela interativa *Animation*, onde o tempo é distribuído por *frames*, posiciona-se o objeto de acordo com esses dois pontos no instante pretendido. É necessário ativar o botão de gravação e o sistema define um movimento entre eles a uma velocidade pré-definida.

Interface: a disposição de uma Interface típica do Unity apresenta cinco painéis diferentes:

- *Scene:* vista do cenário de jogo em desenvolvimento;
- *Game:* vista que resulta do cenário de jogo construído, uma pré-visualização do que o jogador irá receber como produto final;
- *Hierarchy:* local onde estão listados os *GameObject* ativos;
- *Project:* age como uma biblioteca, designados *Assets* no Unity;
- *Inspector:* lista de componentes e propriedades de determinado objeto.

Ferramentas de Controlo: Existem quatro ferramentas determinantes no controlo de um cenário:

- *Hand Tool:* permite selecionar objetos no cenário.
- *Translate Tool:* é o botão ativo por definição, permite selecionar e mover o objeto no espaço.
- *Rotate Tool:* permite rodar o objeto no cenário.
- *Scale Tool:* Permite aumentar e diminuir o objeto.

Asset Store: Funciona como uma loja *online* de objetos ou modelos criados, por vezes com animações alocadas, por desenvolvedores do Unity. Alguns destes pacotes são pagos e outros livres para serem descarregados. Com esta partilha é possível simplificar o processo de criação de uma aplicação e economizar tempo para outras tarefas.

2.4 BIM e Realidade Virtual *Continuum*

Para além de permitir uma melhor visualização do modelo em qualquer fase do projeto relativamente ao método tradicional, o mundo virtual confere a oportunidade de imergir no espaço criado com um certo controlo sobre o mesmo e agregado ao BIM, o que revela um potencial ainda maior para a indústria AEC, e neste caso, para a pré-fabricação, (Crotty Ray, 2012).

As aplicações de RVC com o BIM:

Com a visualização 3D de objetos através do uso BIM, facilita a compreensão e interpretação do modelo, a comunicação entre membros da equipa e a deteção de erros de projeto aos profissionais da indústria da construção. O mapeamento dos modelos gerados pelo *software* BIM com sistemas inteligentes permite simular planos de contingência numa fase embrionária com recurso ao computador. Para além disso, o modo de visualização 3D desta metodologia, possibilita à entidade construtora publicar informações relacionadas com o projeto, através da internet, tendo em vista o envolvimento do público para alcançar melhores práticas, seja a nível económico, ambiental ou social. (X. Wang et al., 2014).

Com o passar dos anos, o BIM tem sido alvo de exploração para ser integrado não só num ambiente 3D, como também para análises intrínsecas à engenharia e outras funções implícitas da construção.

A RV e a RA deverão ser interpretadas no conceito de *continuum* (RVC), sendo que a agregação do BIM é processada de igual forma para ambas, quer seja a realidade mais ou menos virtual. Independentemente da terminologia adotada (RV ou RA) é essencial olhar para estas metodologias como um todo no que diz respeito ao BIM, pois instigam o desenvolvimento de programas de treino e educativos relativamente semelhantes, alterando apenas o seu modo de visualização final (P. Wang et al., 2018). Um exemplo dessa boa relação e respetiva importância ao longo dos anos é representada na Figura 19, com o *BIM-based VR* em destaque, cuja definição implica tanto a RV como a RA.

Research Theme	Period				Total	Percentage
	1997–2001	2002–2006	2007–2011	2012–2017		
Desktop-based VR	6	3	3	5	17	26%
Immersive VR	1	1	1	1	4	6%
3D game-based VR	0	0	0	4	4	6%
BIM-based VR	0	0	4	27	31	47%
Augmented Reality	0	0	3	7	10	15%
Total	7	4	11	44	66	100%

Figura 19 - Distribuição de Publicações de Sistemas de RV ao longo dos anos (P. Wang et al., 2018)

Definida como uma mistura do real com o virtual, a Realidade Aumentada tem sido examinada para várias aplicações na indústria AEC, tais como a manutenção, produção, treino, videoconferências 3D, projetos de construção, entre outros. Com a RA o utilizador está habilitado a visualizar com detalhe quaisquer que sejam os objetos envolventes e correspondentes animações, sem nunca perder a noção de realidade onde se encontra. A RA atua deste modo como uma extensão do modelo BIM para o local da obra (X. Wang et al., 2014).

Apesar de tudo existe ainda pouca investigação sobre como estas práticas poderão assistir efetivamente no local de uma obra, na coordenação e planeamento do local e partilha colaborativa de informação. Poucos são os exemplos de modelos BIM criados para esse fim, com instruções para as tarefas físicas e práticas dos trabalhadores. No entanto, devido às variadas aplicações da RVC é possível suprimir essa necessidade de assistência no local, pois tendo como finalidade um modo de visualização aprimorado, quaisquer que sejam os dados ou informação a ser transmitida, será pré-processada de acordo com as necessidades dos utilizadores finais (X. Wang et al., 2014).

De seguida, são enumeradas algumas combinações possíveis da RA com o BIM (X. Wang et al., 2014), que para efeito deste estudo serão apresentadas no conceito de RVC, pois depende sempre da imersão pretendida. essencial

1- “Walk-through”

Esta combinação é uma das possíveis e mais populares das que têm sido desenvolvidas no mundo da construção. Este conceito permite a funcionalidade de caminhar dentro do edifício, facilitando a revisão de processos de construção e de projeto diretamente no local da obra em tempo real, considerando que a RVC envolve a perceção humana com fontes de informação real e virtual.

2- Sistemas móveis

Através da tecnologia existente, a RA pode ser experienciada com alguns sistemas móveis utilizados na rotina diária da sociedade, como o *smartphone* ou o *tablet*. Sendo assim, a RVC permite que através de um destes sistemas seja possível aceder a informações tipicamente contidas numa base de dados do modelo BIM, oferecendo aos trabalhadores no local da obra uma melhor compreensão das suas tarefas, aumentando consecutivamente a sua produtividade.

3- Montagem na obra

No processo de montagem a RVC tem o potencial de combinar as informações das atividades a realizar no local da obra com o trabalho direto e implícito, isto é, o trabalhador pode executar as suas funções ao mesmo tempo que recebe informações em tempo real. Esta mudança de paradigma pode ditar a forma como recebemos e atuamos perante instruções. Esta metodologia integra informações de como o processo de montagem de certas componentes de um edifício devem ser executados perante um ou mais casos específicos no local.

4- Localização

Outra das formas sob as quais a fusão do BIM com a RVC tem influência, é a tecnologia de navegação interna, isto é, quando um construtor necessita da localização exata de uma determinada componente num armazém ou até mesmo no local da obra.

Transferência de IFC para o Unity

Existe atualmente muito desenvolvimento da tecnologia BIM por empresas do ramo da construção e isso resulta de maneira diferente entre elas, pois nem todas caminham para as mesmas áreas de especialização. Isso resulta numa atuação dispersa e torna-se impossível existir uma comunicação e integração completa entre os mais diversos *software* BIM. Para resolver este problema, a Building Smart desenvolveu o Industry Foundation Classes (IFC) (Wu & Wu, 2015).

Atualmente, o BIM possui algumas falhas de interoperabilidade na interação com as aplicações da engenharia. Tendo isso em mente sabe-se que por outra via os motores de jogo têm uma elevada quantidade de elementos multimídia e oferecem tecnologia que conferem realismo aos seus elementos, podendo simular e atualizar o projeto em tempo real. Se um modelo BIM puder ser usado em conjunto com um motor de jogo, existirá mais possibilidades em termos de desenvolvimento e aplicabilidade (Wu & Wu, 2015).

Posto isto, resta definir a transferência do modelo IFC para o motor de jogo Unity (Figura 20). Ao exportar o ficheiro IFC, o utilizador poderá solicitar ao *software* que o modelo se faça acompanhar de uma base de dados, informação específica de elementos construtivos ou o tipo de objetos. Este irá reunir os requisitos e enviá-los ao servidor, que posteriormente fará uma consulta à base de dados do IFC, convertendo a informação que será devolvida ao utilizador no modelo final. Este irá ser importado no Unity como um *GameObject* e nele estarão os requisitos previamente solicitados pelo utilizador (Wu & Wu, 2015).

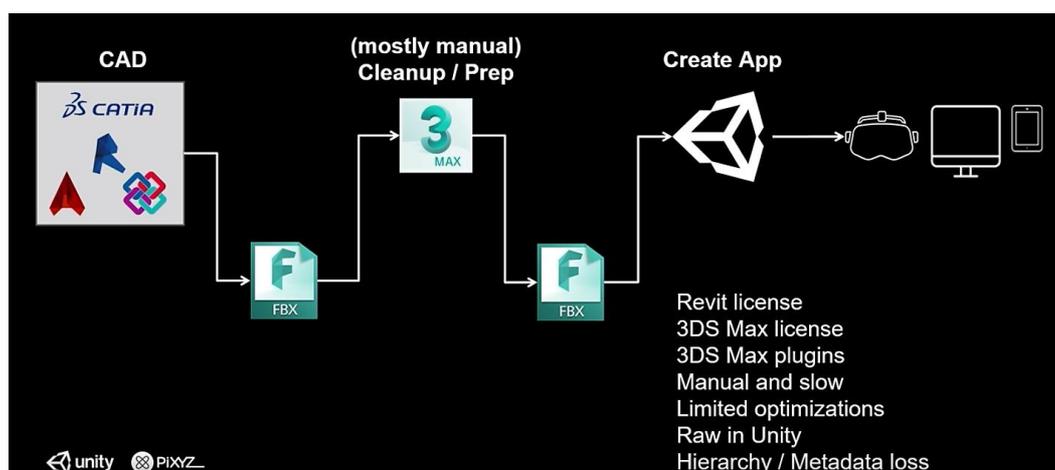


Figura 20 - Transferência tradicional de um modelo entre um software de modelação 3D e o Unity, (Edward Martin, 2018)

3. METODOLOGIA

3.1 Desenvolvimento das aplicações

3.1.1 APK em Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada é uma das metodologias que será adotada neste caso de estudo, com o intuito de desenvolver conteúdos RVC no Grupo Shay Murtagh. O esquema seguinte demonstra o método adotado para a realização de três aplicações (APK – *Android Package “.apk”*) destinadas a dispositivos móveis. O objetivo inicial consiste em implementar uma metodologia imergente que altera a visualização da informação que chega à fábrica de produção do betão ou que será levada para obra. Para isso é necessário recorrer a um *software* BIM, como o Tekla Structures (programa utilizado no Grupo Shay Murtagh) para exportar o modelo pretendido e esse é o primeiro passo. Depois de exportado, é necessário aplicar uma textura para tornar o objeto mais realista e como se tratam de peças simples optou-se por utilizar o 3D Builder, para a sua caracterização. Paralelamente à texturização, uma imagem (alvo) será carregada no *Vuforia Developer Portal* (intrínseco ao Unity) e dessa forma obtemos todas as componentes essenciais para desenvolver as aplicações sugeridas. As APK.1 e 2 são duas fases distintas do mesmo modelo e são destinadas ao setor de fabrico, enquanto a APK.3 exibe uma sequência de montagem destinada ao local da obra ou poderá servir como ponto de discussão na fase de projeto. O que as APK.2 e 3 têm em comum é o uso da programação em C# a partir do Visual Studio, que permite a animação dos modelos importados, enquanto a APK.1 será uma versão de teste mais simplificada.

As três aplicações aqui descritas serão resultado da aprendizagem maioritariamente obtida através de tutoriais.

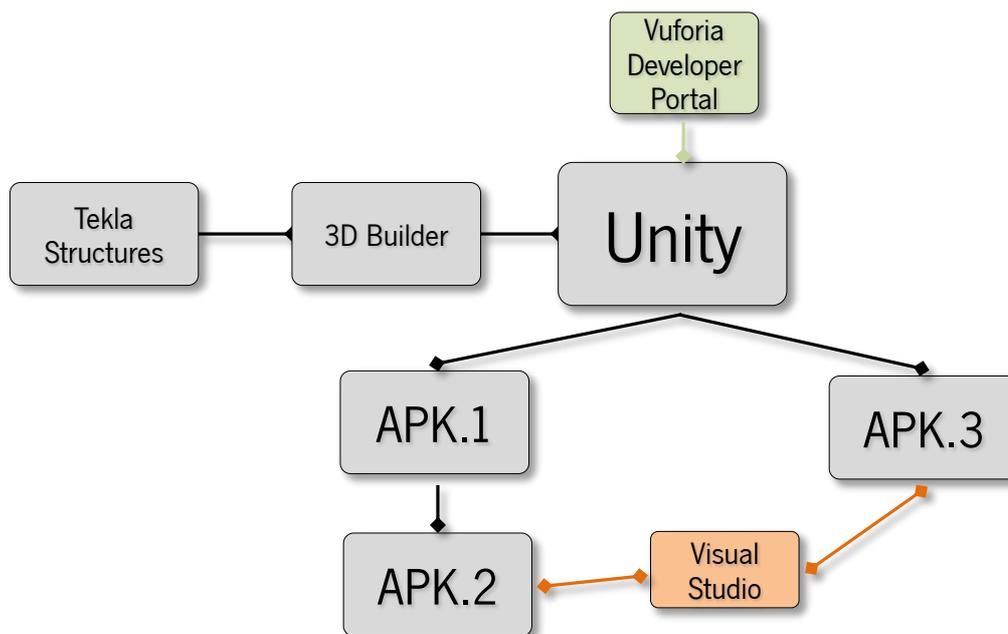


Figura 21 - Esquema de conceção das APK. em RA

3.1.2 APK em Realidade Virtual

A Realidade Virtual é a segunda vertente a ser explorada neste caso de estudo, mas num contexto diferente ao da RA. Será uma experiência mais alargada na interpretação do *workflow* entre algum *software* BIM e o motor de jogo Unity (seleccionado pela sua compatibilidade com os mesmos) com modelos de complexidade superior. A APK.RV consiste em demonstrar um pormenor construtivo da metodologia de trabalho existente na empresa Shay Murtagh no local da obra, recorrendo a um caso concreto. Como se pode observar na Figura 21 e em contraposição à RA, não será necessário o recurso ao *Vuforia Developer Portal*, Visual Studio e 3D Builder. O Vuforia destina-se apenas ao desenvolvimento de conteúdo RA, em vez do Visual Studio a animação será desenvolvida exclusivamente no Unity, recorrendo à componente *Animation*, e as texturas serão aplicadas de igual modo neste motor de jogo. Assim, evita-se a necessidade de programar as animações, testando outras alternativas. Após estas primeiras considerações, o processo representado na Figura 21 consiste em exportar os modelos BIM dos diferentes programas indicados no formato pretendido (*.fbx - filmbox*), importá-los no motor de jogo Unity e proceder a toda a sua caracterização. O último passo é a compilação do conteúdo RV desenvolvido, que resulta na APK final.

Assim como na RA, o desenvolvimento desta aplicação é possível devido aos diversos tutoriais que existem para o efeito.

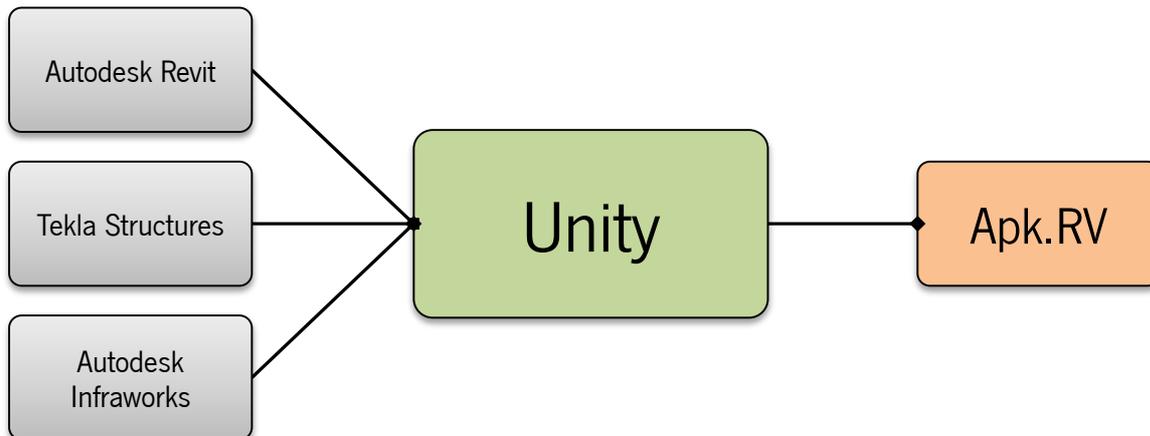


Figura 22 - Esquema da concepção da Apk. em RV

3.2 Processo de implementação em empresa

3.2.1 Considerações gerais

O método encontrado para a implementação da RVC é baseado num guia para o processo de implementação - *A Guide to the Implementation Process: Stages, Steps and Activities (Guia para a Implementação de Processos: Fases, Etapas e Atividades)* (Barbara Smith, Joicey Hurth & Evelyn Shaw, Kathy Whaley, 2014) - que vai de encontro às necessidades deste estudo. Trata-se de um guia generalista que apresenta conceitos abrangentes sobre diferentes fases de implementação, que podem ser aplicadas não só no contexto empresarial, bem como no âmbito social, como indicado no guia previamente descrito, onde remete para a formação do indivíduo sob pena de um programa educacional, e que serão adaptadas à realidade da empresa na qual o presente estudo está inserido – Grupo Shay Murtagh.

Assim sendo, de acordo com o guia referido, adotaram-se as seguintes fases de implementação: Exploração, instalação, implementação inicial, implementação total e expansão.

Neste estudo, a análise das etapas referidas irá conter algumas limitações, pois existem lacunas de material e logística inerente, que não permitem desenvolver o tema na sua plenitude, pois trata-se de um estudo sustentado na realidade de uma só empresa. De seguida apresentam-se brevemente as fases anteriormente referidas:

- **Exploração:** O objetivo desta fase passa por determinar a necessidade da mudança, que tipo de inovação ou práticas são necessárias e decidir se faz sentido ou não avançar com o processo de implementação. É nesta fase inicial que deve ser definida a equipa que irá liderar e supervisionar esta mudança dentro da empresa;
- **Instalação:** Esta fase consiste em propor um sistema capaz de suportar o processo de implementação, nomeadamente as novas medidas a introduzir. A equipa que lidera a mudança deve otimizar esta fase com a sua instrução e acompanhamento devido;
- **Implementação Inicial:** Na primeira fase de implementação é o momento de colocar todos os conceitos e sistemas em prática. Os trabalhadores das várias equipas da empresa dão início às novas práticas, enfrentando os seus primeiros desafios e decisões. É essencial a troca de informação sobre esses primeiros passos com a equipa de liderança, assegurando uma maior segurança no que executam;
- **Implementação total:** Após um bom planeamento e instrução de novas práticas, a implementação total assegura que todo o trabalho previamente elaborado decorre dentro das expectativas, permitindo retirar daí algumas conclusões. É a fase em que o sistema a implementar já se encontra em pleno funcionamento;
- **Expansão:** Trata-se de pensar e planear um aperfeiçoamento da metodologia até então implementada, prevendo uma ampliação da mesma para outros setores. São necessários mais equipamentos e mais profissionais para satisfazer as exigências desta expansão de atividades, ou seja, um novo investimento. Com estas novas medidas, todas as fases anteriores terão de recommençar, pois é necessária uma atualização com novas práticas, liderada pela equipa de supervisão.

3.2.2 Aplicação ao caso de estudo

O processo de implementação numa empresa requer acima de tudo um bom planeamento de preparação para a mudança. Por forma a interpretar melhor esse conceito, é essencial ter a noção que para uma mudança ser executada não basta fornecer informação ou alterar conteúdos internos sobre ela, pois não é a melhor maneira de instigar a uma boa prática. O correto funcionamento deverá ser feito com base num estudo que contempla diferentes fases descritivas de como essas mudanças estão pensadas e devem ser rigorosamente seguidas. Assumindo um bom planeamento garante-se melhor controlo nas áreas implicadas ou até mesmo no tempo estimado. De seguida, na *Figura 23* apresenta-se um esquema de como estas fases se encontram interligadas para o presente caso de estudo.



Figura 23 - Fases do Processo de Implementação

- **Exploração**

A fase da exploração está inteiramente ligada ao que tem sido debatido ao longo desta dissertação, perceber se a RVC será uma boa implementação para uma empresa, que necessidades poderá resolver, o porquê dessa mudança e que vantagens oferece.

Posto isto e de forma a fomentar esta análise, será elaborado um questionário aos vários setores do Grupo Shay Murtagh – projeto, fabrico, gestão, logística e obra – constituídos no total por 50 elementos. Dessa forma, é possível ter uma interpretação mais profunda das necessidades dos quadros da empresa e identificar algumas das medidas a adotar.

- **Instalação**

No contexto do presente estudo, esta fase consistirá em verificar se os requisitos do atual sistema e as capacidades da empresa permitem introduzir a implementação da RVC. Esta análise irá incidir nas necessidades a nível de *Hardware*, *Software* e Recursos Humanos.

- **Implementação Inicial**

A implementação inicial representa o começo de novas práticas. Depois de tecidas algumas considerações iniciais sobre o porquê desta mudança que suporte digital deve ser assegurado, inicia-se a instrução da equipa que representará o setor RVC e atualizar o sistema informático atualmente implementado. O que estes dois grupos têm em comum é a necessidade de receber instruções por parte da equipa que lidera e supervisionará a mudança, definida na fase de exploração. Para sustentar esta fase, irá ser elaborado um Mapa de Processos passível de ser implementado no Grupo Shay Murtagh.

- **Implementação total**

Este ponto da implementação representa um balanceamento entre os aspetos positivos e negativos da implementação RVC em comparação com a metodologia anterior. Esta tarefa, responsabilidade da equipa de liderança, permite retirar conclusões em relação ao estado da implementação.

- **Expansão**

Identificar medidas para melhorar os pontos mais desfavoráveis de maneira a ser possível pensar e planear um aperfeiçoamento da metodologia de RVC.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Processo de implementação

4.1.1 Exploração

No ponto de partida para a discussão sobre o valor que a agregação da RVC ao BIM poderá acrescentar na indústria da construção, a aparição imergente desta metodologia está ainda relativamente distante da estabilização e normalização internacional, como resultado da evolução cada vez mais acelerada e exigente do mundo tecnológico. Sabe-se que a sua exploração não é fortuita, visto que, a RVC se trata de um conceito cada vez mais presente na atualidade. Com história no passado, acompanhará as gerações futuras de uma forma ou de outra nas mais diversas áreas, por muito que a pessoa seja alheia ao tema e respetivas limitações. É importante nesta fase debater conceitos e promover a sua discussão para sustentar a criação de conteúdos creíveis e eficazes.

No Grupo Shay Murtagh, este debate torna-se mais ágil, visto ser uma empresa de betão pré-fabricado que atua no mercado do Reino Unido onde a metodologia BIM é uma imposição, o que a coloca um passo à frente da realidade Portuguesa na discussão do tema.

Posto isto, foi elaborado um questionário (Anexo I), composto por dois cenários, com a intenção de interpretar o conhecimento do BIM, como metodologia de trabalho implementada na empresa e qual a sua abertura para estabelecer uma ponte de ligação à RVC. Sendo assim, foi proposto um questionário destinado à equipa de projeto e desenvolvimento da empresa, localizada em Viana do Castelo. Os questionários foram introduzidos aos colaboradores no decorrer do trabalho, apenas com o conhecimento pessoal de cada um no momento e da discussão que ia sendo feita. Daí resultou:



Figura 24 - Questionário RV/BIM

Como se pode observar na Figura 24, recolheram-se 15 resultados do questionário realizado. De seguida irão ser apresentadas as análises tecidas aos resultados obtidos em cada departamento, contextualizando-os por pergunta.

Como referido, existem dois cenários diferentes no questionário: o primeiro coloca os inquiridos no seu local habitual de trabalho, onde são confrontados com o seu conhecimento em relação à metodologia BIM atualmente implementada e a sua avaliação à possibilidade de agregar a RVC. O segundo, relata uma situação hipotética, pois o objetivo passa por estimular a imaginação do utilizador, caso tivesse acesso à nova metodologia proposta e suas ferramentas (RVC).

- Questionário destinado ao departamento de projeto e desenvolvimento:

Cenário 1: Chegamos ao local de trabalho e sentamo-nos na mesa em frente ao computador.

1 - Antes de dar início ao questionário em si, qual a equipa de trabalho que representa?
Selecione uma opção.

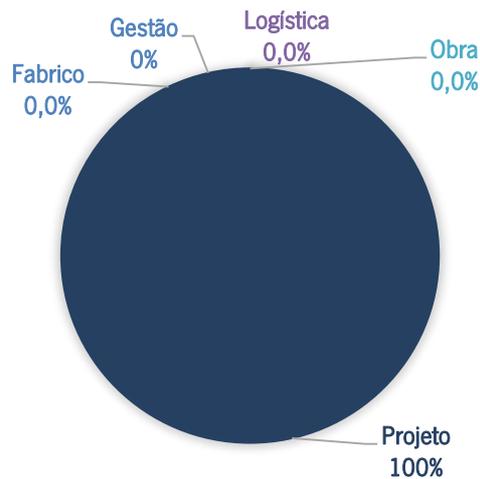


Figura 25 - Questionário RV/BIM - Pergunta 1

Esta questão (Figura 25) serve apenas para enquadrar os inquiridos como parte de uma equipa onde habitualmente trabalham. Percebemos que os resultados irão ser apresentados maioritariamente sob o ponto de vista da equipa de projeto, que ocupa a totalidade o gráfico. Dos departamentos com percentagem nula, não foi possível obter qualquer resposta.

2 - Como avalia o seu conhecimento em relação à metodologia BIM?
Classifique.

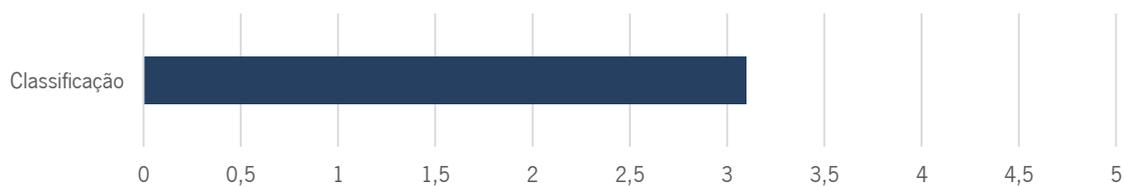


Figura 26 - Questionário RV/BIM - Pergunta 2

Como se pode observar na Figura 26, mesmo para pessoas que trabalham diariamente com a metodologia BIM, avaliam o seu conhecimento como médio.

**3 - Acha que a metodologia BIM trará inúmeras vantagens em relação ao método tradicional?
Se responder às duas últimas refira um exemplo.**

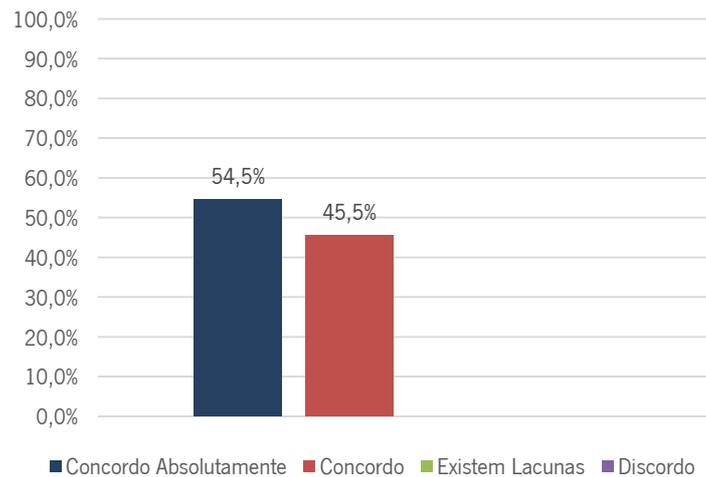


Figura 27 - Questionário RV/BIM - Pergunta 3

De acordo com a Figura 27, é possível concluir que a totalidade confia e acredita na metodologia BIM como realidade de trabalho, comparativamente aos métodos tradicionais, adotados em grande escala pela indústria da construção portuguesa. Muitos avanços têm sido dados pelo BIM em Portugal e acredita-se chegar a uma normalização europeia nos próximos anos. A satisfação e compromisso de quem trabalha com a metodologia e a credibilidade da ferramenta de trabalho são fatores chave neste ponto.

4 - Qual o *software* mais utilizado na sua rotina de trabalho?
Selecione uma ou mais respostas.

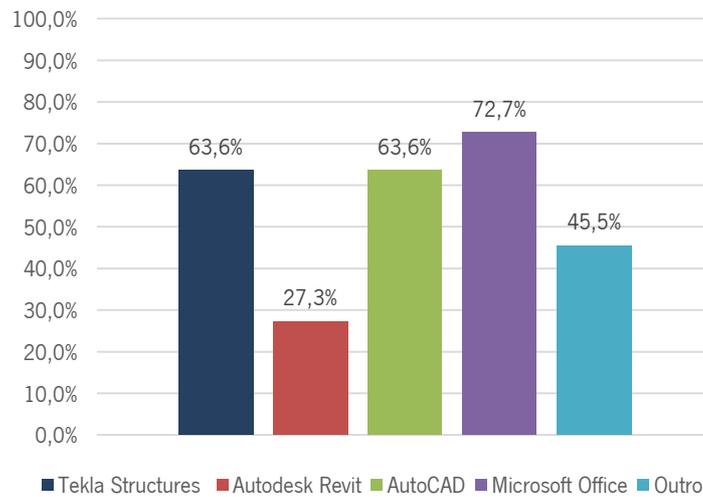


Figura 28 - Questionário RV/BIM - Pergunta 4

Este gráfico (Figura 28) demonstra que existe um grande equilíbrio entre as ferramentas de trabalho mais utilizadas no dia-a-dia da empresa. Para além do Microsoft Office, que apresenta maior percentagem utilização por ser um *software* transversal a qualquer área ou indústria, é de notar a homogenia entre o Tekla Structures e o AutoCAD. Isto significa que ainda existe uma certa resistência ao método tradicional. Com uma percentagem menor, a opção “outro” aparece como alternativa ao restante *software*, revelando mais opções sobre a experiência diária dos inquiridos, tais como: “*Robot Structural Analysis*”, “*Trimble Connect*” e “*JARVIS*”.

5 - Como avalia a comunicação entre os sectores de projeto e fabrico da empresa? Classifique.

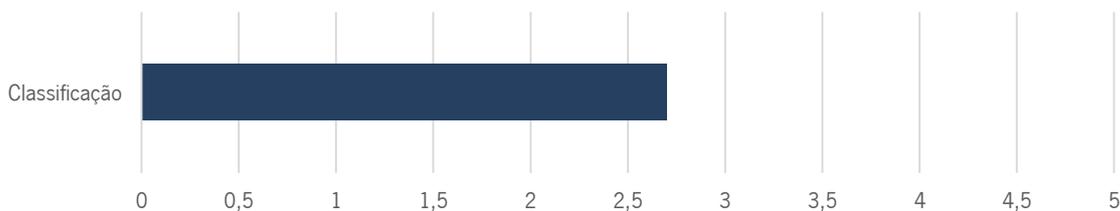


Figura 29 - Questionário RV/BIM - Pergunta 5

Na Figura 29, apesar da classificação ser média na comunicação entre departamentos, este resultado leva a concluir que ainda existem aspetos a melhorar, pois a falha na comunicação é uma das principais responsáveis pelos erros que existem ao longo de um projeto de construção.

6 - Após uma prévia avaliação à comunicação entre setores e de acordo com a função que ocupa na empresa, que melhoria gostaria de ver resolvida nessa interação? *Refira uma ou mais caso ache necessário.*

Nesta fase deu-se abertura aos inquiridos para sugerirem melhorias que gostavam de ver aplicadas, de modo influenciar positivamente a comunicação entre setores, nomeadamente entre as equipas de projeto e fábrica. Algumas das respostas obtidas, são apresentadas de seguida:

- “Projeto para Fabrico - Maior Facilidade de visualização tridimensional das peças de forma a diminuir o uso de papel. Fabrico para Projeto - maior facilidade em rever a qualidade das peças betonadas através de fotos ou capturas 3D a partir de fotogrametria”;
- “A implementação de novas estratégias”;
- “Comunicação mais simples sobretudo em termos visuais de modo a evitar erros de interpretação”;
- “Constante controlo de informação veiculada para cada área através dos modelos partilhados”;
- “Reuniões semanais”;
- “Mais fotografias do processo de fabrico das peças modeladas”;
- “Deveríamos receber mais detalhe de como as peças mais complexas ficam armadas para verificar alguns reforços especiais que colocamos nos *Manufacturing Drawings*. Receber também o nível de compreensão que têm dos desenhos de fabrico.”

7 - Como avalia o seu conhecimento em relação à Realidade Virtual?
Classifique.

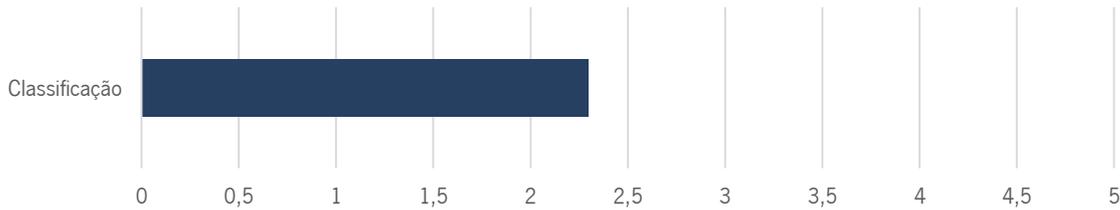


Figura 30 - Questionário RV/BIM - Pergunta 7

Neste ponto (Figura 30) introduz-se o tema Realidade Virtual. Como se pode verificar existe um certo desconhecimento sobre o assunto, com indicadores de que a compreensão que possa existir seja maioritariamente teórica devido à sua expansão tecnológica cada vez mais imergente e presente.

8 - Estes são os diferentes campos aos quais se estende o mundo da Realidade Virtual. Qual destes se adaptaria melhor à sua realidade de trabalho?
Selecione uma resposta.

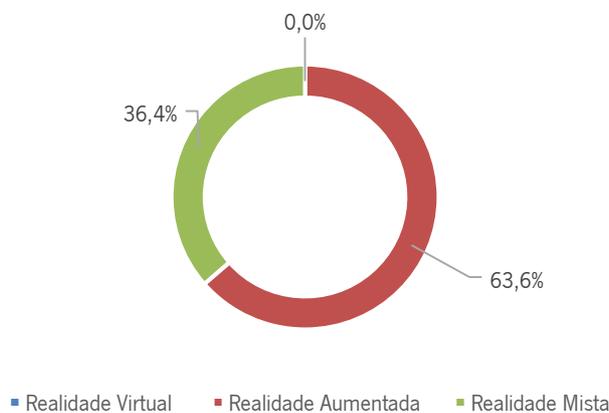


Figura 31 - Questionário RV/BIM - Pergunta 8

Esta questão (Figura 31) passou por enquadrar os inquiridos em 3 diferentes realidades, as quais pertencem a um conceito de *Continuum* e que foram devidamente discutidas ao longo deste trabalho. São fornecidas três imagens com a devida identificação e descrição da sua tipologia, conseguindo dessa forma chegar aqueles que poderão ser mais alheios ao tema. Posto isto, a maioria identificou a Realidade

Aumentada (RA) como a melhor escolha como ferramenta de trabalho, o que confere uma certa coerência, de acordo com as propostas de melhoria indicadas pelos inquiridos, em relação à comunicação entre departamentos.

9 - Com as opções anteriores em mente, qual delas serviria melhor às áreas que se seguem:
 Coloque à frente de cada área as siglas RV, RA ou RM de acordo com a sua preferência.

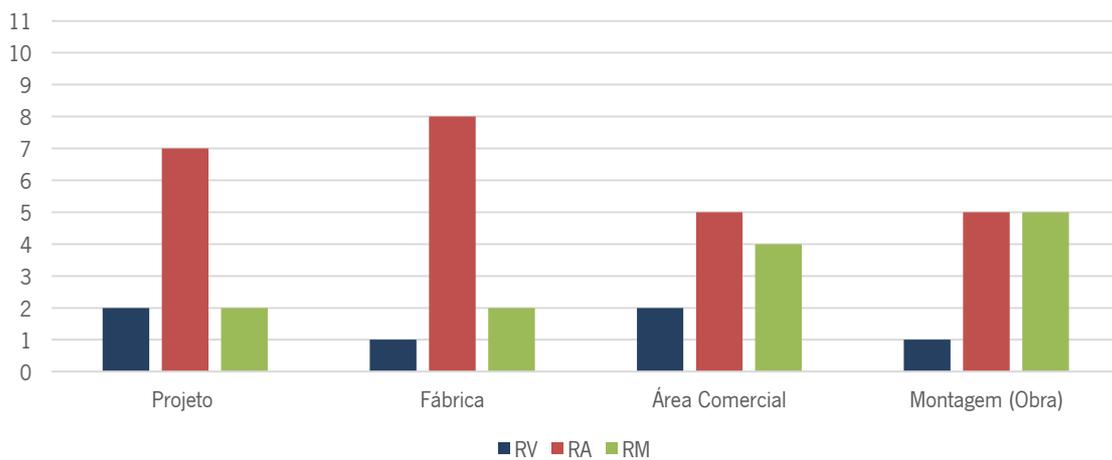


Figura 32 - Questionário RV/BIM - Pergunta 9

Depois do enquadramento em relação aos diferentes campos do mundo virtual na questão anterior, os inquiridos devem correlacionar, de acordo com a sua preferência, as siglas (RV, RA e RM) e áreas chave existentes na empresa. Mais uma vez, pode-se verificar na Figura 32, que existe uma predominância da Realidade Aumentada (RA) em comparação às demais, sendo que do ponto de vista comercial e da visualização em obra acaba por se equiparar à Realidade Mista (RM).

10 - Irá a metodologia RVC ajudar na comunicação entre equipas dos diferentes setores da empresa? Classifique

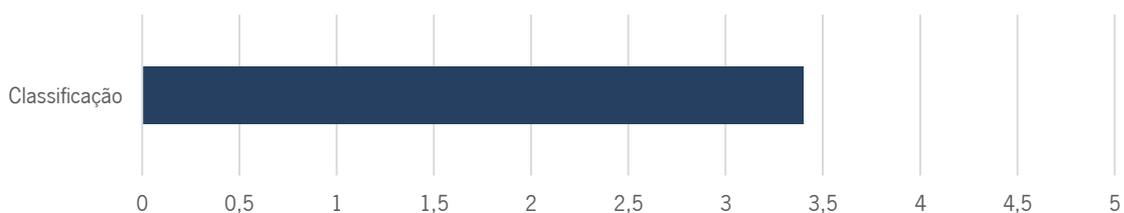


Figura 33 - Questionário RV/BIM - Pergunta 10

Pode-se interpretar através da classificação atribuída (Figura 33), que a incrementação da RVC na rotina de trabalho do Grupo Shay Murtagh, seria uma boa solução para resolver parte da comunicação entre diferentes equipas, dissipando certas quezílias pendentes e previamente identificadas.

**11 - Os headsets utilizados nesta área permitem ao indivíduo a imersão completa no espaço recriado. Quais deles conheces ou já ouviste falar?
Selecione uma ou mais respostas.**

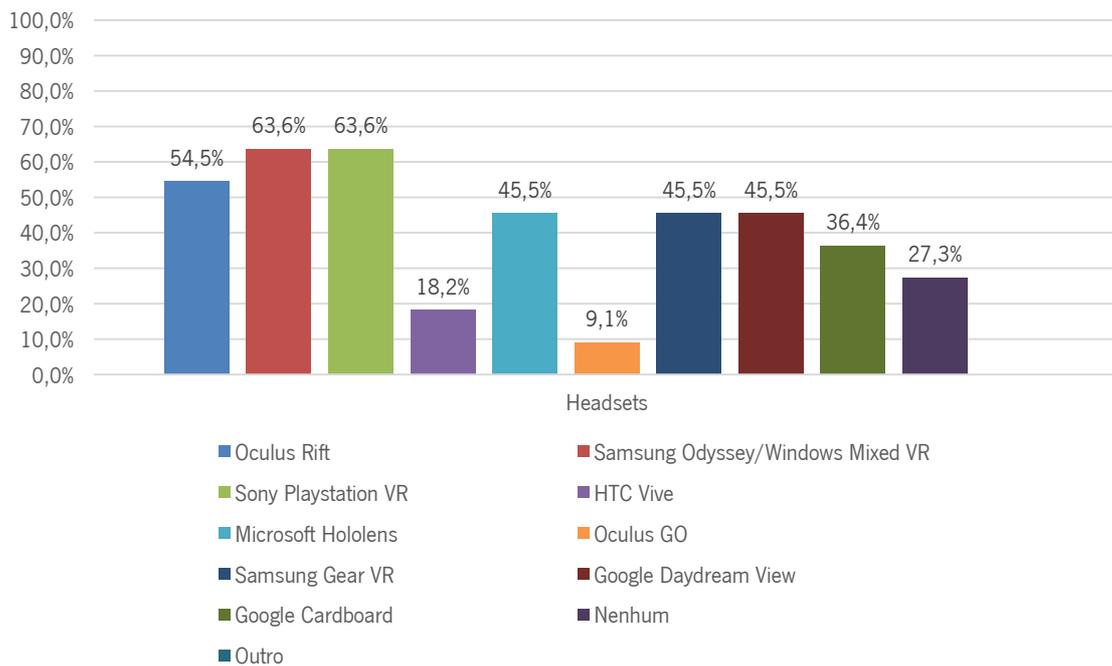


Figura 34 - Questionário RV/BIM - Pergunta 11

O conhecimento em relação aos dispositivos virtuais mais populares do mercado é de um modo geral positivo (Figura 34), imprimindo a confiança de que esse conhecimento poderá advir dos videojogos e do *marketing* feito pelas empresas produtoras.

Cenário 2: Imagine o mesmo cenário, mas desta vez com os *headsets* anteriormente referidos e escolhamos testá-los.

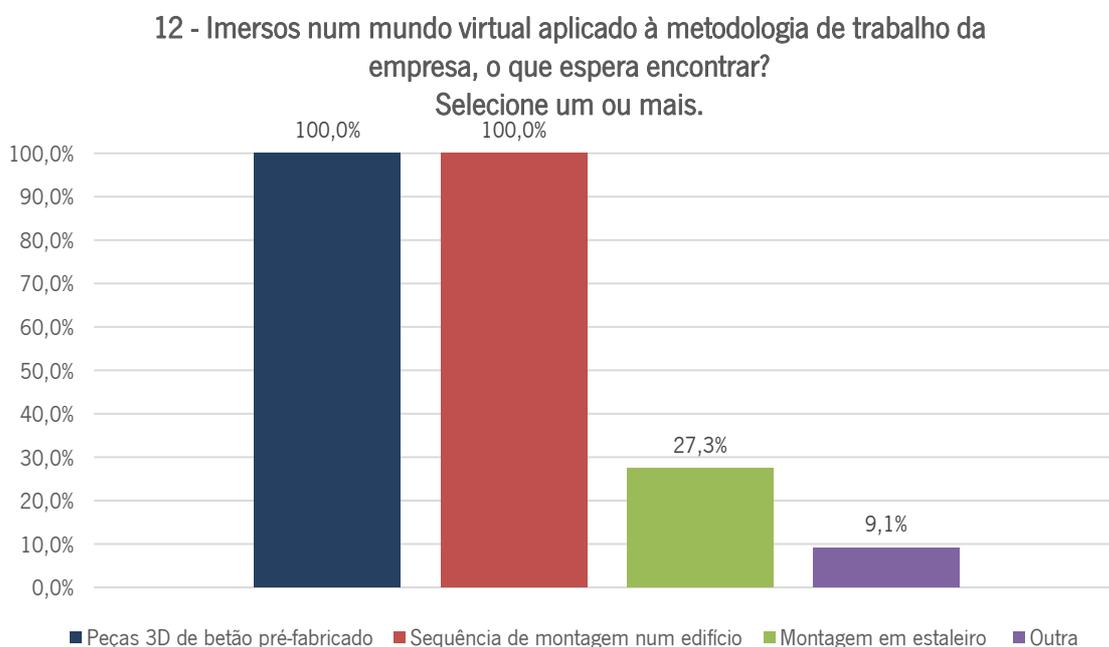


Figura 35 - Questionário RV/BIM - Pergunta 12

Foram dadas algumas sugestões como estimulação ao imaginário dos trabalhadores da empresa. Tanto o exemplo de peças 3D modeladas num projeto e posteriormente enviadas para a fábrica, como programas de treino onde existe uma sequência de montagem num edifício, reúnem consenso (Figura 35) como uma mais-valia na troca de informação e na expectativa criada. Para a opção “outra” fica a sugestão de um trabalhador que referiu a “Preparação de moldes em fábrica”. Estes resultados vão de encontro às pretensões deste estudo.

13 - Sabendo que para uma experiência RVC se pode recorrer também a tablets e smartphones num modo de visualização, faria sentido a sua utilização na fase de projeto e/ou fabrico? Classifique.

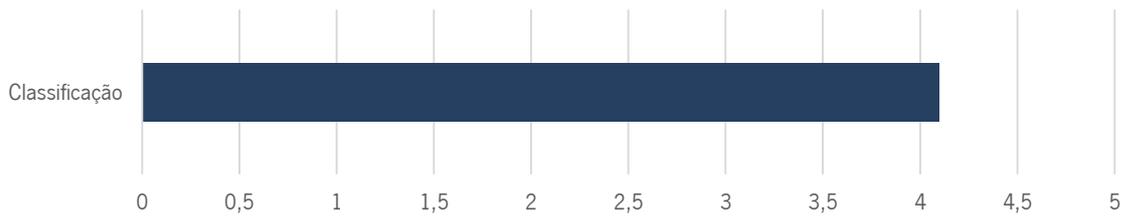


Figura 36 - Questionário RV/BIM - Pergunta 13

Para empresas que não queiram arriscar um investimento tão elevado em dispositivos virtuais, os *smartphones* e *tablets* são suficientemente consistentes para induzir um modo de visualização vantajoso, quando equiparados aos desenhos 2D tradicionais. É visto como um benefício a ter em conta, patente na Figura 36, até porque são aparelhos de uso quotidiano e nem todos os modelos, dependendo do grau de complexidade, necessitam de um dispositivo de RVC.

14 - A RVC permite uma visualização otimizada ao utilizador de modelos BIM. Irá este incremento melhorar a gestão de um projeto? Selecione uma resposta.

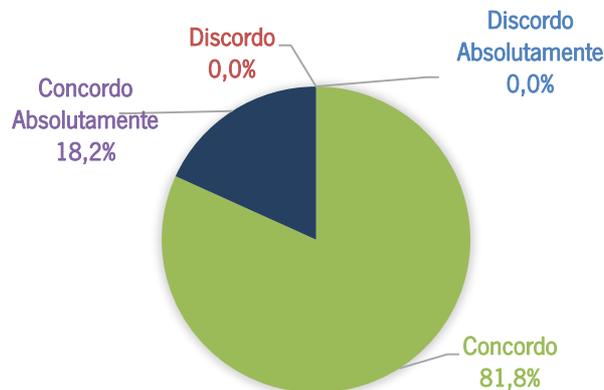


Figura 37 - Questionário RV/BIM - Pergunta 14

Sendo que um modelo virtual pode ter várias aplicações ao longo de um projeto, quando é idealizado em correspondência com um modelo BIM, que nos fornece informações dos elementos construtivos e análises estruturais, por exemplo, acredita-se que poderá valorizar a gestão do mesmo (Figura 37), na medida

em que a interação entre o Homem e o modelo, bem como a comunicação com os restantes intervenientes são mais imediatas. Desenvolvimentos têm sido feitos para a importação direta de modelos BIM nos motores de jogo onde a componente virtual será produzida. Com um modelo que pode simular situações reais em tempo real, a compreensão e aceitação do mesmo influencia diretamente a sua gestão e planeamento.

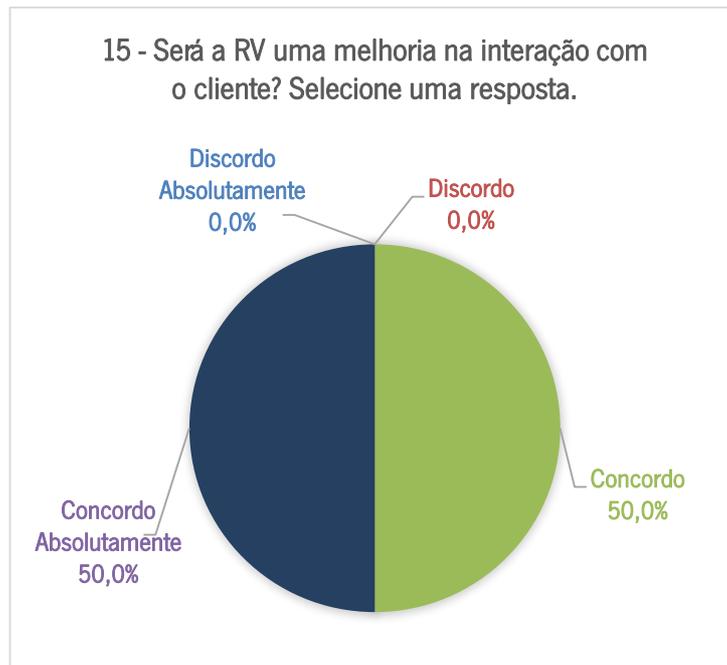


Figura 38 - Questionário RV/BIM - Pergunta 15

Sobre a satisfação que o cliente poderá apresentar na presença de um modelo com esta tipologia, a unanimidade está bem patente quanto ao seu potencial (Figura 38). É fácil para qualquer pessoa colocar-se nessa posição e imaginar-se incorporada numa experiência virtual em que poderá acompanhar a evolução do projeto e ver o seu resultado final, antes do mesmo existir no mundo real, sendo possível em alguns casos a interação com certos elementos. Tudo isto faz com que o papel do cliente seja mais ativo e envolvido no resultado final que pretende, efetuando possíveis alterações que possam surgir numa fase mais embrionária do projeto, evitando possíveis erros e poupando recursos.

16 - A Realidade Virtual tem tomado conta da atualidade. Seria importante para a empresa apostar em R&D (investigação e desenvolvimento) de aplicações RVC?

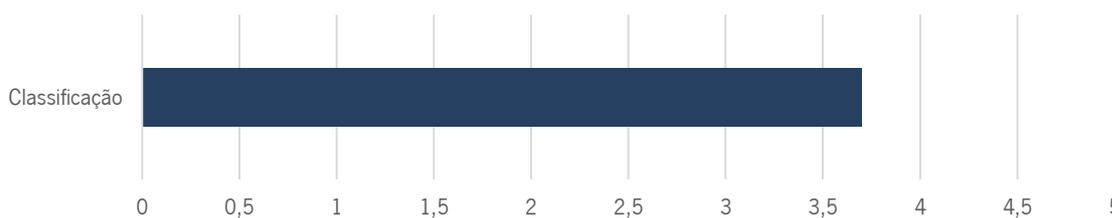


Figura 39 - Questionário RV/BIM - Pergunta 16

Como última pergunta (Figura 39) e de acordo com a fase de exploração, daquilo que é a implementação de um novo processo numa empresa, seria pertinente perceber qual a importância a ser dada na aposta da Realidade Virtual como ferramenta de trabalho. Cumprindo esses requisitos, o Grupo Shay Murtagh, pela voz dos seus representantes neste inquérito, vê com bons olhos o investimento nesta metodologia, o que credibiliza de certa forma o trabalho desenvolvido ao longo deste estudo.

As respostas evidenciam que é necessária uma mudança/atualização tecnológica de forma a otimizar os processos de visualização e eficiência no grupo. Para tal, propõe-se a introdução de aplicações de RA e RV para as equipas de projeto e fábrica, de modo a que estas possam facilmente visualizar e interpretar o modelo 3D, acrescentando assim outras possibilidades de análise ao trabalho. A RA surge com maior destaque entre os cenários propostos, pelo facto de conseguir combinar realidade e virtualidade. Qualquer que seja o setor, a visualização de peças em fábrica, a discussão de modelos em projeto ou a deteção de colisões no local da obra, necessita da componente “mundo real” presente na experiência virtual, de uma forma generalizada. A RV trata uma realidade totalmente virtual e imersiva, o que não seria aconselhável, em termos de segurança, para a maior parte dos exemplos referidos.

4.1.2 Instalação

Relativamente aos trabalhadores de uma indústria que pretenda implementar a RVC na sua rotina, mais de que conhecimento sobre a sua área, devem dominar certos tipos de *software* e conceitos, que se revelaram determinantes para este estudo, dos quais se destacam a modelação 3D e a programação informática, com menor relevância para a última. Existem diversos programas de modelação, entre eles destacam-se o Autodesk Revit e o Tekla Structures. Ambos são bastantes usados como realidade de

trabalho na indústria AEC e mais ainda numa empresa que adote a metodologia BIM, como é o caso do Grupo Shay Murtagh. Como se trata de *software* que consente a exportação de modelos em vários formatos, revela-se um fator determinante para a equipa que será responsável pelo desenvolvimento de conteúdo RVC, pois esses serão importados para um motor de jogo que dará vida à aplicação final.

Este é o primeiro ponto crucial a ser explorado. Depois de exportados os modelos no formato desejado, é necessário encontrar o motor de jogo ideal. Para tal efeito existem duas soluções, Unreal Engine ou Unity. Esta foi uma escolha baseada em estudos feitos sobre qual seria o melhor motor de jogo para o desenvolvimento de interfaces tridimensionais a partir do BIM e os que incluíam um método de ensino e aprendizagem mais otimizado e intuitivo. Neste caso de estudo optou-se pela utilização do Unity, porque reunia as melhores condições no *workflow* com os outros programas de modelação implementados no Grupo Shay Murtagh. Comparativamente ao Unreal Engine, a sua utilização e aprendizagem são mais imediatos, para além das parcerias estabelecidas, como a da Autodesk, que lhe confere maior interoperabilidade com os seus programas. Em relação à importação no motor de jogo, o formato do ficheiro que conseguir manter mais informação no “transporte” do *software* de modelação 3D para o Unity, será o formato escolhido, pois é o que se aproxima com mais exatidão do modelo original.

Não menos importante, resta agora fazer uma breve exposição sobre a linguagem de programação *CSharp* (C#) adotada. Com recurso ao Visual Studio, que atua como ferramenta externa e complementar do Unity, é possível usar esta linguagem para escrever linhas de código (*scripts*), de modo a que influencie o comportamento dos elementos presentes no cenário. Dependendo da animação e realismo pretendido, este processo de aprendizagem poderá ser uma tarefa árdua e morosa, pois é necessária alguma formação na área informática. Posto isto, a programação em C# alcançada neste estudo, foi maioritariamente baseada em diversos tutoriais de aplicações desenvolvidas no Unity, de modo a assimilar conceitos simples (como rotações de objetos, botões interativos para aplicações, entre outros) de forma mais célere.

O Hardware tem papel determinante na RVC, na medida em que é responsável pelo realismo final das aplicações, não só pelo sistema de desenvolvimento das mesmas, como também através dos dispositivos de entrada e saída. No ponto de partida para este estudo, idealizou-se um cenário hipotético de recurso a pelo menos um HMD que mostrasse a viabilidade das aplicações que viriam a ser desenvolvidas em âmbito empresarial. Como tal não foi possível, adaptou-se as mesmas para um modo de visualização via

tablet ou *smartphone*. Apesar de ser um fator importante, não representa grande entrave naquilo que são as expectativas deste trabalho, pois embora não haja o nível de imersão que um HMD naturalmente possui, o seu modo de visualização via *tablet*, permite imaginar como seria o resultado e é visto dessa forma como um complemento às aplicações desenvolvidas e não como um fator decisivo na objetividade destas, quanto à comunicação entre equipas, perceção e interação com o modelo, programa de instrução à construção *in situ*, relação com o cliente, entre outras.

Por último, os Recursos Humanos ocupam uma percentagem considerável no investimento de uma empresa para a implementação de uma nova metodologia, em termos da contratação de novo pessoal, das ferramentas de trabalho e respetivas formações na área. No caso do Grupo Shay Murtagh, como existem equipas de trabalho com experiência na metodologia BIM, na construção e produção de betão pré-fabricado, seria prudente investir em formação do pessoal que atualmente trabalha na empresa e a contratação de outros com formação em RVC, para que os mesmos possam acompanhar e orientar continuamente a adaptação dos formandos na assimilação de conceitos e colaborar em projetos futuros. O número de pessoas a contratar depende sempre dos objetivos a que a empresa, enquanto grupo, se propõe.

4.1.3 Implementação Inicial

A fase de implementação inicial consiste no momento em que se dá início ao trabalho prático, depois de interiorizados os conceitos e reunidas as condições para levar o processo avante. Para simplificar a adaptação dos sistemas informáticos e do pessoal responsável pelo desenvolvimento de RVC, resolveu-se elaborar um Mapa de Processos, que está disponível no Anexo II com um tamanho otimizado, que clarifica os passos que um sistema integrado em empresa pode oferecer aos seus colaboradores, com o intuito de incorporar a metodologia de forma natural na sua rotina de trabalho. Esse mapa de processos, é apresentado na Figura 40 e tem por base a atual metodologia de trabalho da empresa.

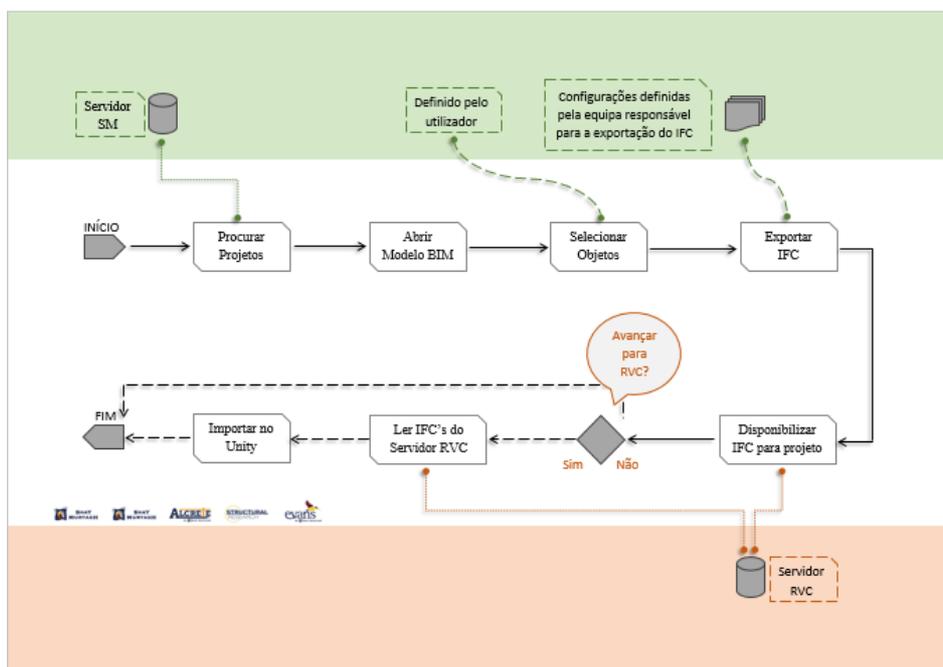


Figura 40 - Mapa de Processos

Com base no plano de implementação do BIM e respetivos processos no Grupo Shay Murtagh, foi elaborado um mapa que clarifica a atuação das duas metodologias em conjunto. Partindo do princípio, que em realidades de trabalho da mesma génese existe um departamento de informática, que se dedica ao desenvolvimento e gestão da informação por intermédio da programação, os projetistas podem realizar tarefas de um modo mais simplista. O programador concebe um sistema que automatiza processos para as restantes equipas de trabalho e pelo feedback recebido vai aprimorando-o. Tendo em conta que a implementação da RVC é um cenário hipotético, o Mapa de Processos resulta:

Em primeiro lugar admite-se que o programa se inicia todos os dias às 21h. Trata-se de uma hora em que não haverá ninguém a trabalhar na empresa, evitando conflitos. De seguida irá procurar todos os projetos no servidor SM (nome fictício atribuído ao servidor da empresa) e abre-os um a um.

Para a seleção de objetos ser realizada o utilizador deverá indicá-lo previamente. Para este passo considera-se o exemplo do *software* Tekla Structures. Durante o dia de trabalho do projetista, ele coloca um comentário no(s) objeto(s)/modelo pretendido do tipo “IFC”, para que o programa o(s) reconheça.

Após identificação do modelo pretendido, segue-se a exportação do mesmo. No mapa optou-se pelo uso do formato IFC, vinculado ao BIM e à prática do Grupo Shay Murtagh, com o intuito de tornar a compreensão do leitor mais imediata. A equipa responsável pelo projeto deverá definir as configurações para a exportação conforme as suas necessidades.

O próximo passo consiste em disponibilizar o modelo para projeto, ou seja, depois de exportado o programa envia o IFC para a pasta do projeto correspondente. Desta forma, o projetista quando regressar ao local de trabalho, já terá o modelo pronto sem perder tempo na procura do mesmo.

Ao incluir a RVC neste processo, será necessário criar um outro servidor (Servidor RVC), para não sobrecarregar o existente, que estará a cargo de outros serviços. Posto isto, os projetos serão enviados para uma base de dados nos mesmos moldes que os anteriores. Poder-se-ia colocar o comentário “RVC” em vez de “IFC” no Tekla Structures e o programa enviaria para o novo servidor apenas os modelos pretendidos para o desenvolvimento da RVC. Sendo assim, o programa pode prosseguir ou não, dependendo do que for pré-definido pela equipa de projeto.

Se a resposta a “Avançar para RVC?” for “sim”, então o programa acede ao servidor RVC para ler todos os IFC’s e importa no motor de jogo Unity os pretendidos. Aqui serão criadas as aplicações virtuais, sejam elas para o setor de produção, instrução em obra ou fins comerciais. Se a resposta for “não”, o programa encerra as tarefas nesse modelo e avança para outros.

Conclui-se, desta forma, aquilo que seria um processo possível de ser atingido e facilmente integrado na realidade de trabalho do Grupo Shay Murtagh, servindo de exemplo para outras entidades.

4.1.4 Implementação Total

Quando se alcança este patamar é possível começar a tirar conclusões e analisar os novos conceitos implementados, de modo a poder identificar o que de bem foi feito e o que ainda é possível ser melhorado. No ponto de vista deste trabalho, não seria astuto afirmar ou negar a veracidade que a RVC poderá acrescentar á realidade de trabalho de uma empresa, por isso, resta tecer alguns balanços do feedback recolhido através dos trabalhadores do Grupo Shay Murtagh, atendendo às suas necessidades, e à da experiência retida nesta investigação.

Balanços Positivos – visualização de modelos 3D otimizada, simples de ser integrado na realidade da empresa, métodos de aprendizagem acessíveis, boa interligação com o *software* BIM, permite trabalho colaborativo, possibilita o envio de informação mais esclarecedora para o setor de fabrico, boas indicações na realização de programas de treino e instrução em obra.

Balanços Negativos – Necessidade de formação, investimento inicial em equipamento e formação, resistência à mudança na indústria aos processos atualmente implementados.

Após este período em ambiente empresarial foi possível desenvolver três aplicações diferentes, discutidas durante este capítulo, que representam o que de mais concreto existe na prática desta metodologia. Sendo um tema nunca antes explorado pelo Grupo Shay Murtagh, acaba por se revelar inovador na medida em que permite obter diferentes perspetivas do trabalho desenvolvido em comparação com os métodos adotados até então. Respondendo às necessidades da empresa e de acordo com as aplicações desenvolvidas, a RA influenciaria maioritariamente o setor de fabrico, pelo potencial que a metodologia apresenta no realismo e credibilidade de informação dos modelos, permitindo assim que quem os recebesse, conseguisse produzir determinada peça com base numa visualização 3D em vez dos tradicionais desenhos técnicos 2D. Por outro lado, a RV seria vista mais como um incremento positivo na interação com o cliente, pela capacidade de criação de ambientes que imergem o utilizador, sentindo-se mais envolvido na interpretação do resultado pretendido. A mesma relevância teria na conceção de programas de instrução em obra, de forma a aumentar a segurança de quem constrói.

4.1.5 Expansão

Com base nos resultados obtidos, existem aspetos a ser melhorados, com principal foco no equipamento e formação necessária, para que seja possível alcançar todo o potencial que a metodologia RVC oferece nos dias de hoje. Da experiência obtida, seria necessário um sistema integrado, como exemplificado no Mapa de Processos anterior, pois existem modelos que pelo seu tamanho excessivo atrasam o processo de desenvolvimento das aplicações virtuais, ou seja, é essencial uma base de dados capaz de relativizar essas pendências tornando-o mais fluído.

Os dispositivos de entrada e saída trariam um reflexo mais aprofundado ao trabalho realizado, permitindo a imersão e o controlo do espaço virtual. De todos os dispositivos disponíveis no mercado, os óculos de RVC (*Headsets*) são o principal fator a ter em consideração, pois é neles que o sentido visual e auditivo se apura. Para além dos elementos físicos, a formação académica no ramo da engenharia poderá não ser suficiente para o domínio da RVC, pois existem conceitos como a renderização de objetos ou a programação informática, que devem ser adquiridos, para que se satisfaçam todas as necessidades, que o desenvolvimento de uma aplicação desta índole implica.

4.2 Aplicações em Realidade Aumentada

4.2.1 Processo

No ponto de partida para qualquer estudo, por muito que exista uma ideia pré-definida em relação ao tema, a sua análise poderá conduzir a discussões e resultados inesperados, que alteram o rumo idealizado. A RA surge neste contexto, como influência positiva. Antes de explorar o tema em si mesmo, a experiência de poder trabalhá-lo de acordo com o *modus operandi* do Grupo Shay Murtagh, diminui a ambiguidade comparativamente a um estudo livre, mas por outro lado aumenta o desafio e o compromisso. Nesse período inicial de adaptação à empresa, era essencial perceber quais as ferramentas de trabalho utilizadas no desenvolvimento de projetos e a comunicação entre si, permitindo um melhor posicionamento sobre a matéria, enquadrando-a na produção do betão pré-fabricado. Quando se deu início à exploração do conceito de RV, com a ideia pré-concebida de que se tratava apenas de um ambiente completamente imersivo em elementos virtuais, a RA surgiu como uma solução promissora. Os programas BIM utilizados no grupo de trabalho (nomeadamente o Autodesk Revit e o Tekla Structures) estabelecem a ponte ideal para a criação de uma experiência virtual. Tendo em conta que, através dessas ferramentas, é produzida a informação enviada para a fábrica, os *Manufacturing Drawings* (Desenhos Técnicos em 2D), onde os modelos de betão serão produzidos. Surge assim a ideia de criar uma aplicação que permita visualizar esta informação de um modo otimizado, tendo em mente os resultados obtidos dos inquéritos apresentados. Sabendo que a RA permite adicionar elementos virtuais sobrepostos a um ambiente real, parece ser a resposta adequada para este exercício.

Depois de enquadrar a necessidade da RA no contexto da empresa, é tempo de apresentar as três aplicações realizadas:

4.2.1.1 APK.1 - Versão teste

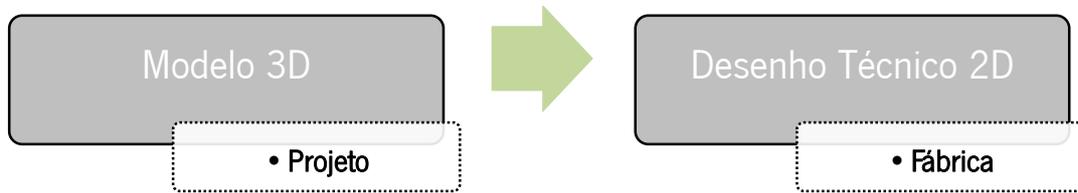


Figura 41 - Modelo de uma peça de betão pré-fabricado em RA, visualização via tablet da APK.1.

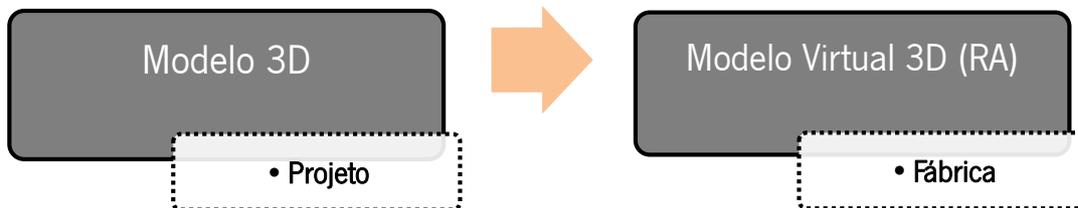
Como primeira tentativa, ou versão de teste, escolheu-se a peça 3D ilustrada na Figura 41. A ideia seria começar com algo simples e interpretar as potencialidades da metodologia, no primeiro contacto com o *software* Unity. Esta peça modelo é um dos exemplos daquilo que é o trabalho no Grupo Shay Murtagh, onde os projetos são modelados maioritariamente com recurso ao Autodesk Revit ou Tekla Structures, que resultam, entre outros, em *Manufacturing Drawings (MD)*, desenhos técnicos enviados para o setor de produção, sediado na Irlanda, com todas as especificações necessárias de determinado modelo(s) de betão pré-fabricado. Após investigação naquilo que é o dia-a-dia da empresa e a realidade de muitas outras, a comunicação surge como um dos principais fatores responsáveis pelos erros cometidos ao longo de uma obra, seja na sua criação ou execução. Foi exatamente nesse ponto que se decidiu intervir e mais do que criar um ambiente 3D apelativo, seria interessante oferecer uma melhor perceção das intenções dos responsáveis pela parte de projeto, fomentando uma discussão mais célere com quem fabrica do modelo.

Para uma melhor interpretação do objetivo desta aplicação, segue-se a distinção entre o processo de comunicação existente (tradicional) entre as equipas de projeto e de produção no Grupo Shay Murtagh e aquele que seria possível com recurso à RA, proposto neste trabalho.

Processo de comunicação tradicional:



Processo de comunicação proposto:



<input type="checkbox"/>	Target Name	Type	Rating	Status
1 selected Delete				
<input type="checkbox"/>	TheWardian02	Single Image	★☆☆☆☆	Active
<input checked="" type="checkbox"/>	TheWardian01	Single Image	★★★★☆	Active
<input type="checkbox"/>	shaymurtagh12	Single Image	★★★★★	Active
<input type="checkbox"/>	drawarchit	Single Image	★★★★☆	Active
<input type="checkbox"/>	shaymurtagh1	Single Image	★★★★★	Active
<input type="checkbox"/>	shaymurtagh_onlylogo2	Single Image	★★★☆☆	Active
<input type="checkbox"/>	TheWardian	Single Image	★☆☆☆☆	Active

Figura 42 - Vuforia Database, classificações dos alvos

Para além do modelo (peça exportada em formato “.obj”), a teoria dizia ainda que seria necessária uma “imagem alvo”, o MD presente na Figura 41, a ser importada no Vuforia Developer Portal. Este portal online requer o registo com uma conta pessoal, obtendo um perfil onde é disponibilizada uma biblioteca

que armazena as “imagens alvo” nele adicionadas com a respectiva classificação (Figura 42), sabendo de antemão se representa um bom alvo a ser posteriormente usado ou não. A escolha desse, de acordo com a sua classificação, confere maior exigência, quanto maior for a complexidade do modelo.

Com o alvo escolhido, disponível no Anexo III, o próximo passo será importá-lo no motor de jogo Unity.

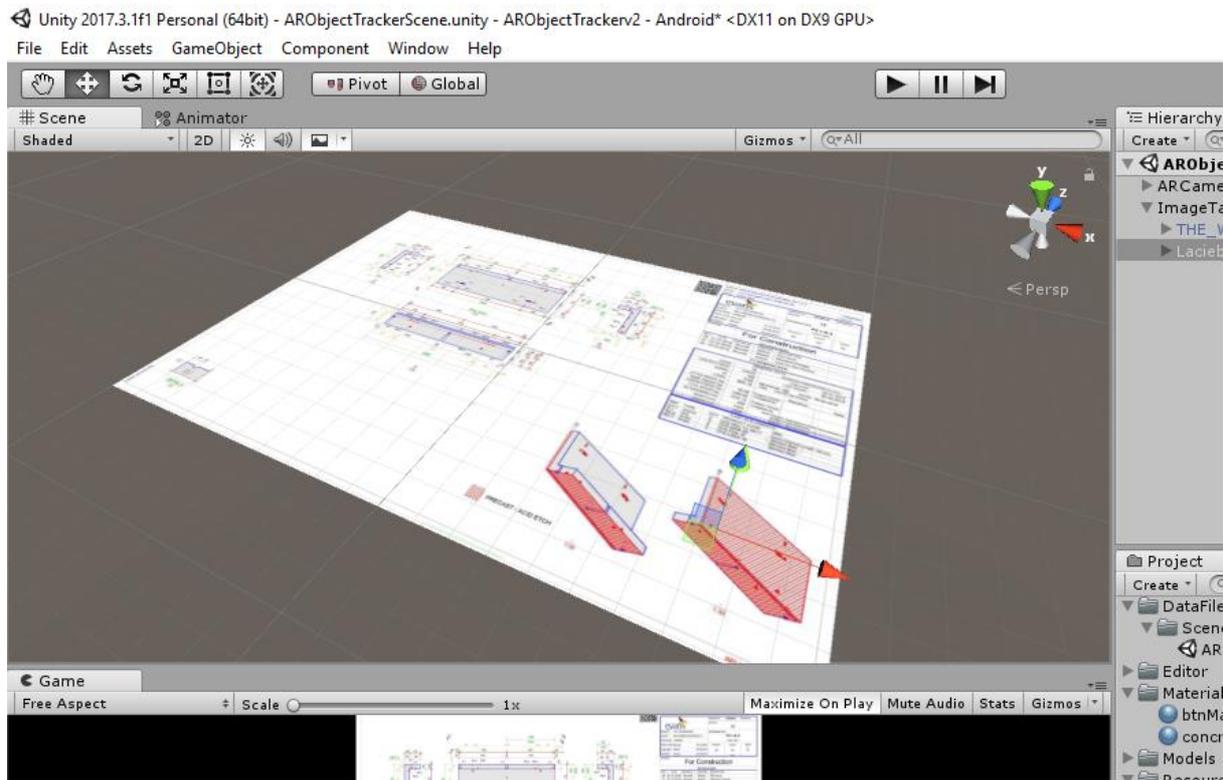


Figura 43 - Imagem alvo importada no software Unity

A representação desse alvo (*MD*), como se observa na Figura 43, irá ser exibida na janela *Scene* num ambiente 3D onde o conteúdo da aplicação será desenvolvido. Este passo é bastante rápido, apresenta simplicidade e comodidade visual no resultado, fazendo com que o utilizador visualize uma simulação da realidade.

Do Tekla Structures é exportada a peça em questão no formato “.obj” para depois ser importada no motor de jogo. Durante esse passo recorreu-se ao 3D Builder, um *software* que permite de um modo prático aplicar texturas em objetos 3D. Como se tratava apenas de uma versão de teste, foi aplicada uma textura básica para dar alguma consistência ao objeto.

O último passo consistiu em centrar a peça sobre a imagem no motor de jogo, visto que tem de ser estrategicamente posicionada em conformidade com a câmara desse mesmo cenário (*Scene*). Depois de todas as configurações acertadas de acordo com a convecção para RA, que facilmente se assegura

na documentação *online* do Unity ou através dos mais diversos tutoriais disponíveis, a aplicação é compilada e está pronta a ser usada.

4.2.1.2 APK.2 – Versão teste com C#

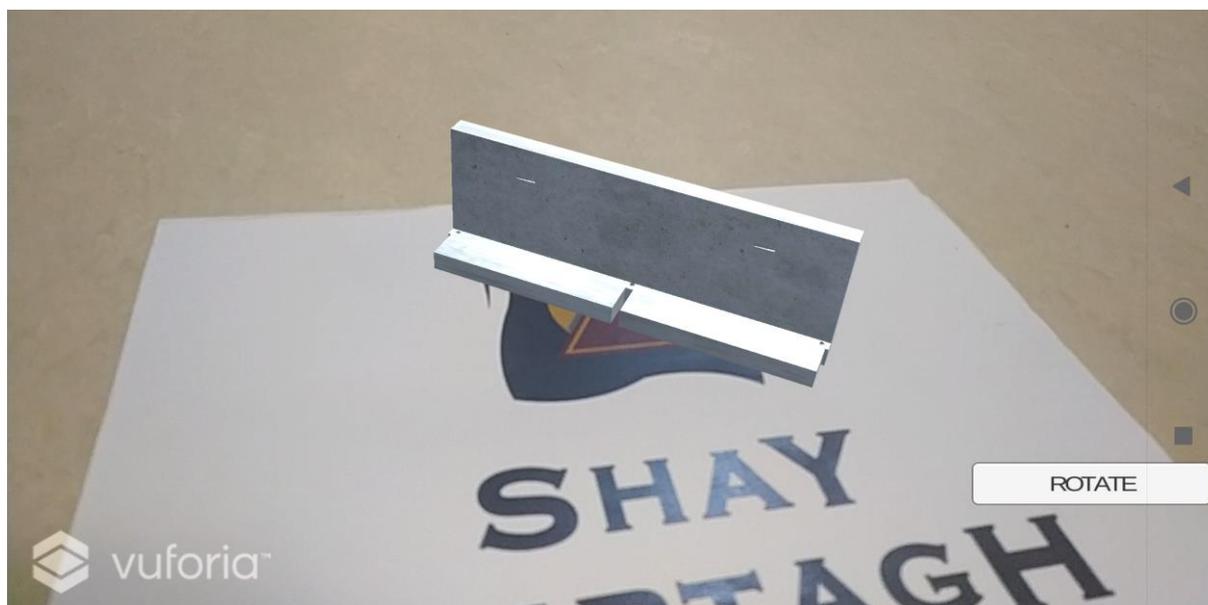


Figura 44 - Modelo de uma peça de betão pré-fabricado em RA, visualização via tablet da APK.2.

Após a versão de teste (APK.1) e alguns tutoriais, estavam recolhidas as primeiras impressões sobre como, pelo menos, colocar uma aplicação do género em pleno funcionamento. Apesar de numa fase inicial desta dissertação se projetar os resultados para o uso de Hardware como óculos virtuais (*Headset* ou HMD), a ideia permaneceu em criar aplicações que abrangessem os *smartphones* ou *tablets*, pois são ferramentas mais usuais e de fácil acesso no quotidiano, ao invés dos óculos, cuja obtenção não foi possível neste trabalho.

Sendo assim, e com os primeiros passos dados nesta metodologia, a APK.1 demonstrou limitações intrínsecas que poderiam ser exploradas. Do ponto de vista de quem recebe o modelo seria interessante poder interagir com o mesmo, para evitar andar em torno de uma folha de papel para conseguir contemplar as várias vistas da peça. A solução encontrada para suprir essa lacuna foi recorrer à linguagem de programação em C#, de maneira a colocar rotação no objeto. Melhorou-se ainda o aspeto do modelo para torná-lo o mais real possível, desta vez com uma textura real de betão (Figura 44), recorrendo ao 3D Builder. Com o intuito de arranjar um alvo padrão de fácil acesso em qualquer momento do dia, para

efeito de comodidade no desenrolar do trabalho, escolheu-se o logótipo do Grupo Shay Murtagh, testando assim outras alternativas. Esse alvo encontra-se disponível no Anexo III.

No desenrolar desta tarefa, obteve-se conhecimento de possíveis melhorias para a aplicação, como a utilização de QR Codes, presentes em cada *Manufacturing Drawing*, para que o utilizador possa ter acesso à aplicação correspondente, sem ter de a procurar entre vários projetos, tornando o processo ainda mais fluido. Isto significa que cada modelo teria o seu próprio QR Code.

Um possível processo para a implementação do QR Code, como auxiliar da RA no Grupo Shay Murtagh, é apresentado na Figura 45. Embora fosse uma fase de exploração do *software* Unity que consistia na aprendizagem de novos conceitos, a compatibilidade existente com *software* BIM permite encará-lo como uma extensão dos mesmos. O modelo mantém-se, mas com a particularidade de o poder simular em diversos cenários, de acordo com as necessidades do projeto. Ainda que seja uma ferramenta familiar a tantas outras de modelação na vertente da engenharia, desafia o utilizador com uma das tarefas mais exigentes no decorrer desta Dissertação, a programação informática em C#.

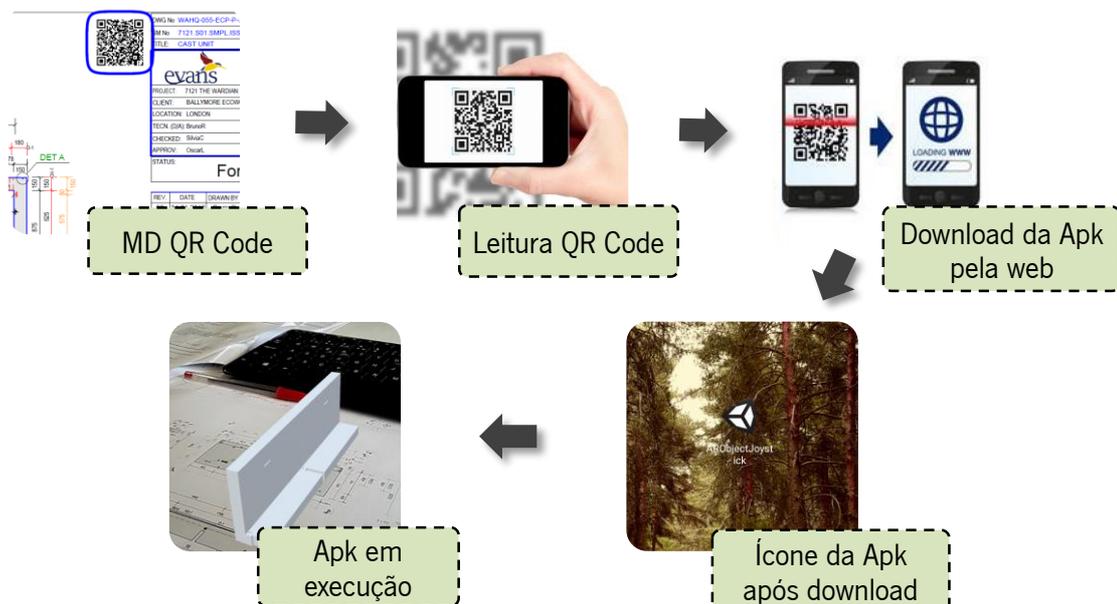


Figura 45 - processo de leitura de um QR Code como auxiliar para a RA

Depois de algum estudo sobre a matéria e exemplos partilhados pela comunidade do Unity, foi possível elaborar alguns comandos nesta linguagem de programação, por intermédio do Visual Studio, que permitiram chegar à solução pretendida e colocar o objeto em movimento. O botão que se encontra na Figura 44 denominado “Rotate” é destinado a esse efeito. Clicando nele a peça entra em rotação, a uma velocidade visualmente cómoda, sendo possível pausar e retomar a animação sempre que pressionado.

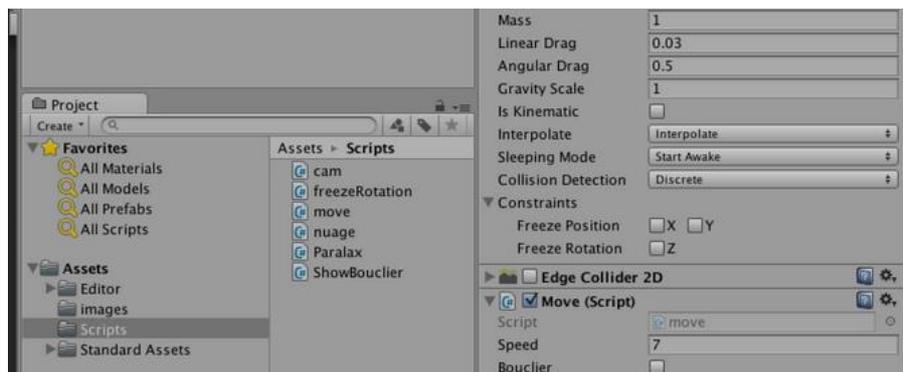


Figura 46 - Exemplo de um script

A linguagem C# dita instruções escritas em linhas de código para determinado objeto. Essas instruções ficam registadas num ficheiro que está alocado ao objeto, ao qual se pretende atribuir certo comportamento, no formato *Script*. Na Figura 46 encontra-se representado um exemplo de um *script* no motor de jogo Unity, á imagem dos que foram desenvolvidos para este trabalho.

Para a aplicação em causa (APK.2), foi desenvolvido o seguinte *script*, aplicado ao botão interativo “Rotate”:

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class RotateObject : MonoBehaviour
6  {
7
8      public GameObject objectRotate;
9
10     public float rotateSpeed = 50f;
11     bool rotateStatus = false;
12
13     public void Rotasi()
14     {
15         if (rotateStatus == false)
16         {
17             rotateStatus = true;
18         }
19         else
20         {
21             rotateStatus = false;
22         }
23     }
24
25     void Update()
26     {
27         if (rotateStatus == true)
28         {
29             objectRotate.transform.Rotate(Vector3.up, rotateSpeed * Time.deltaTime);
30         }
31     }

```

Figura 47 - Script desenvolvido para o botão interativo "Rotate" em C#

Apesar de esta solução revelar pouca complexidade em termos de programação, a parte morosa está no caminho percorrido até lá chegar, como já foi referido. Este foi o último passo dado no desenvolvimento da APK.2, restava apenas compilar a aplicação e testá-la.

4.2.1.3 APK.3 – Sequência de montagem em obra

Ao contrário das outras aplicações desenvolvidas, esta foi pensada para simular um processo de montagem em obra. Uma vez pensada para otimizar a comunicação entre projeto e o de fabrico, existem outras fases na construção onde pode ser implementada. Não só ganha a relação entre o departamento de projeto e o diretor de obra, caso haja a necessidade de interpretação de um acontecimento específico na parte de montagem em estaleiro, bem como a discussão desse processo em momentos diferentes do ciclo de vida de um edifício. Com as ferramentas existentes no Grupo Shay Murtagh, é possível ter uma ideia de como resultará o edifício após conclusão e discutir qual o melhor processo de montagem em certos momentos. No entanto, ainda não é possível visualizar o seu comportamento ou testar eventuais cenários, como os que a RVC poderá oferecer.

Posto isto, a elaboração da APK.3 incidiu nesse prisma, não só oferecer soluções ao setor de produção, como também influenciar positivamente a construção *in situ* com simulações.

Antes de visualizar no que resulta a APK.3 e sabendo que as duas aplicações anteriores são mais simples quando executadas, esta deverá ser exposta a partir do momento em que a câmara do dispositivo móvel reconhece o alvo.



Figura 48 - APK.3 via smartphone

A “imagem alvo” adotada para esta aplicação recai na mesma utilizada para a APK.2, o logótipo da empresa, não só pela questão de comodidade durante o processo de trabalho, mas desta vez também

pelo grau de complexidade do modelo quando comparado aos anteriores. Como já foi referido, quanto maior for a exigência e informação veiculada numa aplicação, melhor terá de ser o seu alvo. Uma vez que este é o que apresenta melhor classificação, segundo o *Vuforia Developer Portal* (Figura 42), também presente na Figura 44, decidiu-se mantê-lo como prevenção de futuros problemas.

Assim que a câmara do dispositivo reconhece o alvo, a primeira coisa que surge é quadrado castanho ilustrado na imagem anterior. Como se trata de uma aplicação desenvolvida para também ser usada no terreno, optou-se por um piso análogo ao de um estaleiro na tentativa de tornar a experiência mais real. Antes de avançar para a fase em que se carrega no “*play*”, convém contextualizar em que moldes se trabalhou a animação.



Figura 49 - Botões interativos da APK.3

Esta aplicação foi desenvolvida com recurso à programação em C#, que controla a parte dos botões interativos (Figura 49), e à *Animation*, uma componente do Unity ainda não explorada até então, para a translação dos objetos do modelo.

Em primeiro lugar, os comandos desenvolvidos na linguagem de programação C# para a APK.3, são uma agregação da recolha feita de vários exemplos desenvolvidos pela comunidade do Unity e de tutoriais relacionados. Desse trabalho iterativo de pesquisa, resultou o seguinte *script*, apresentado na Figura 50.

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.SceneManagement;
5
6  public class PlayPause : MonoBehaviour {
7
8      public GameObject PauseButton, PlayButton, RestartButton;
9
10     public void Start()
11     {
12         OnPause();
13     }
14
15     public void RestartGame()
16     {
17         SceneManager.LoadScene("Wardian_Animation");
18     }
19     public void OnPause()
20     {
21         Time.timeScale = 0;
22     }
23
24     public void OnPlay()
25     {
26         Time.timeScale = 1;
27     }
28 }
29

```

Figura 50 – Script desenvolvido para os botões interativos em C#

Este ficheiro resulta no controlo de três opções distintas para esta aplicação, ilustradas na Figura 48 e com maior destaque na Figura 49: Reiniciar, iniciar e pausar, respetivamente.

O botão “*play*” (iniciar) permite ativar a animação e retomá-la no momento em que foi pausada, o botão “*pause*” (pausar) suspende a animação num momento em que se pretenda interpretar determinado passo relativo à sequência de montagem e o “*restart*” (reiniciar) permite voltar ao ponto inicial da aplicação, quando só existe o terreno virtual (Figura 48).

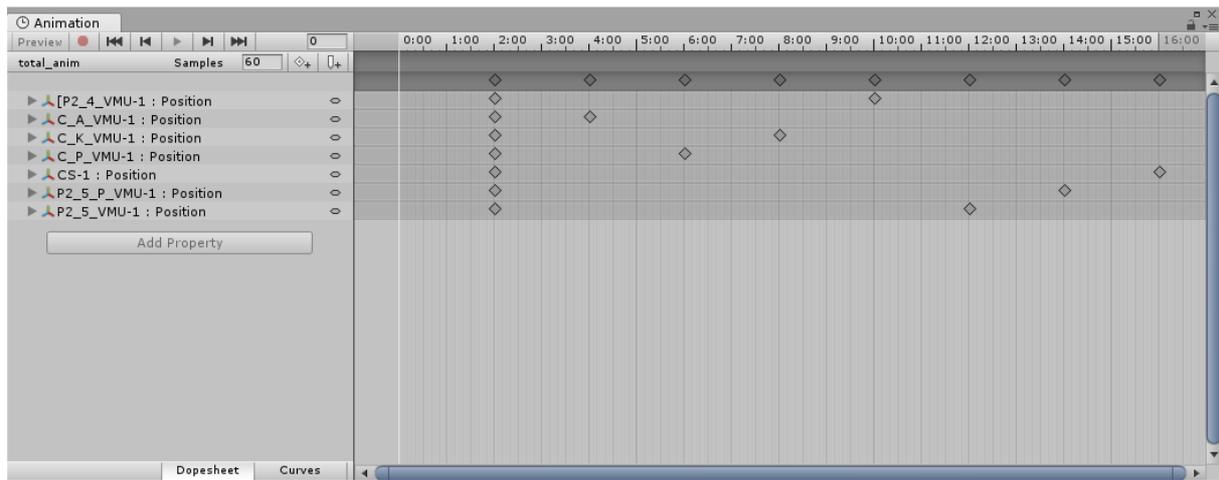


Figura 51 - Animation APK.3

A segunda parte da animação foi desenvolvida com recurso à componente *Animation* (Figura 51). Do lado esquerdo da imagem encontram-se os objetos do modelo, os quais se pretendem “animar” e do lado direito temos a sua distribuição ao longo do tempo de duração da aplicação, num esquema por *frames*. Desta forma é possível ajustar o posicionamento dos objetos ao mesmo tempo que a ação decorre no cenário de jogo (*Game*), assim que é ativado o botão *play* na janela *Animation*. Se por alguma eventualidade os objetos se sobrepõem ou um outro erro ocorre durante a animação, basta deslocar os pontos (*keys*) para a frente ou para trás, atrasando ou adiantando dessa forma o movimento dos objetos. Adicionou-se assim a dimensão tempo a um cenário 3D, tornando-o um ambiente 4D.

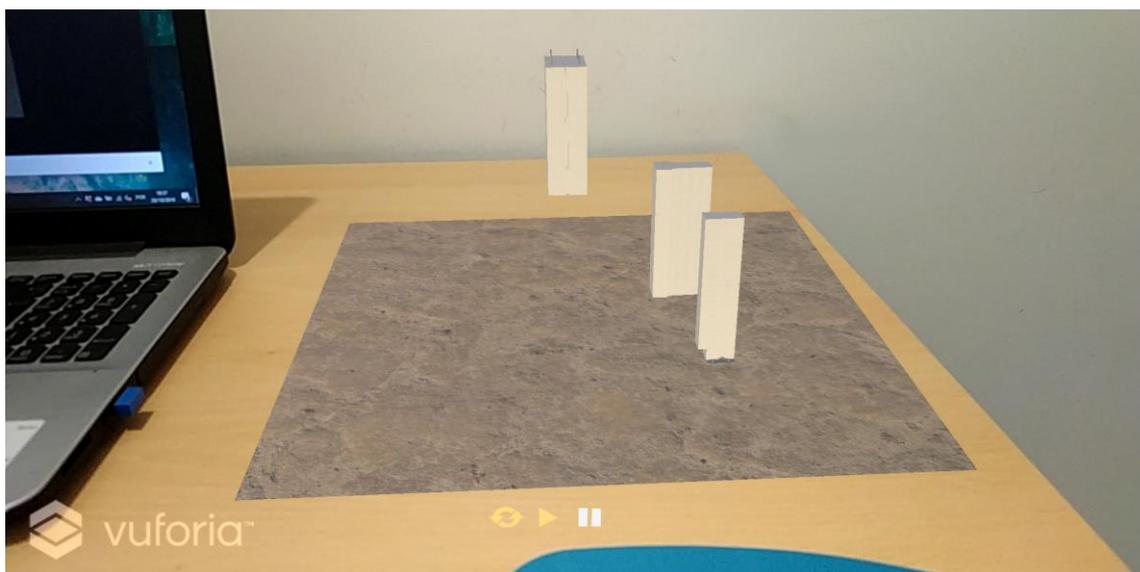


Figura 52 - APK.3 em execução, pilares

Retomando o momento em que se ativa o “*play*” no dispositivo móvel, os objetos começam a surgir no ecrã, como mostra a Figura 52. O modelo consiste em três pilares e três painéis que assentam nesses mesmos pilares (um em forma de “U”, outro em “L” e um último liso) que vão aparecendo numa sequência de montagem designada para o efeito.

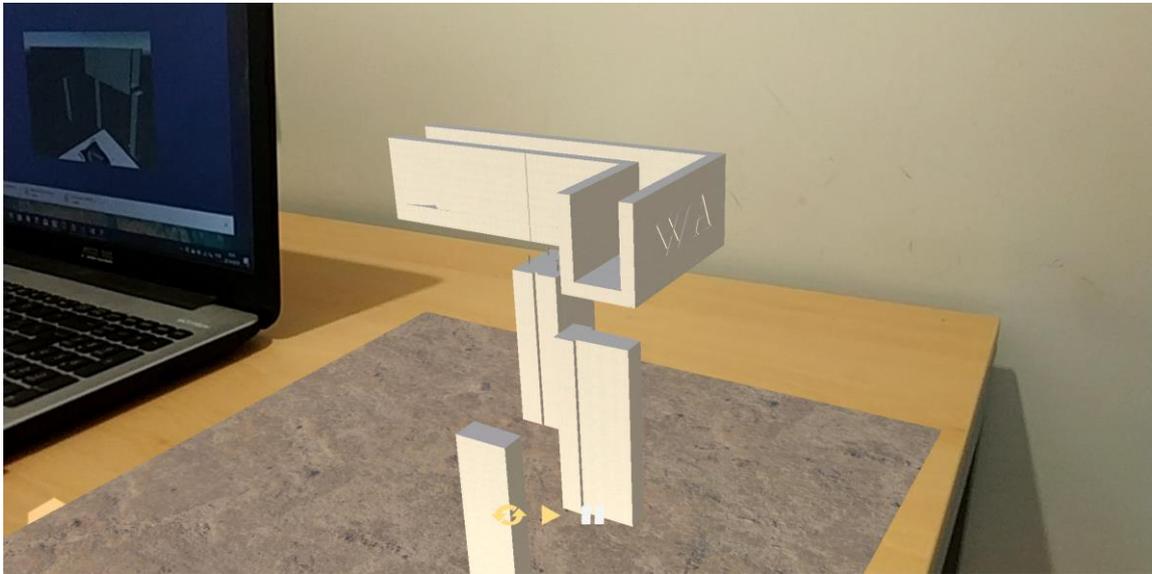


Figura 53 - APK.3 em execução, painéis

Não só pode ser vista como uma aplicação para instrução em obra, sendo o argumento principal na base para a sua criação, como também poderá ser ainda aproveitada para pontos de discussão complementar ao setor de projeto ou ainda fins comerciais. A Figura 53 apresenta o momento em que os painéis começam a assentar nos pilares, atribuindo maior clareza naquilo que será o resultado final da montagem.

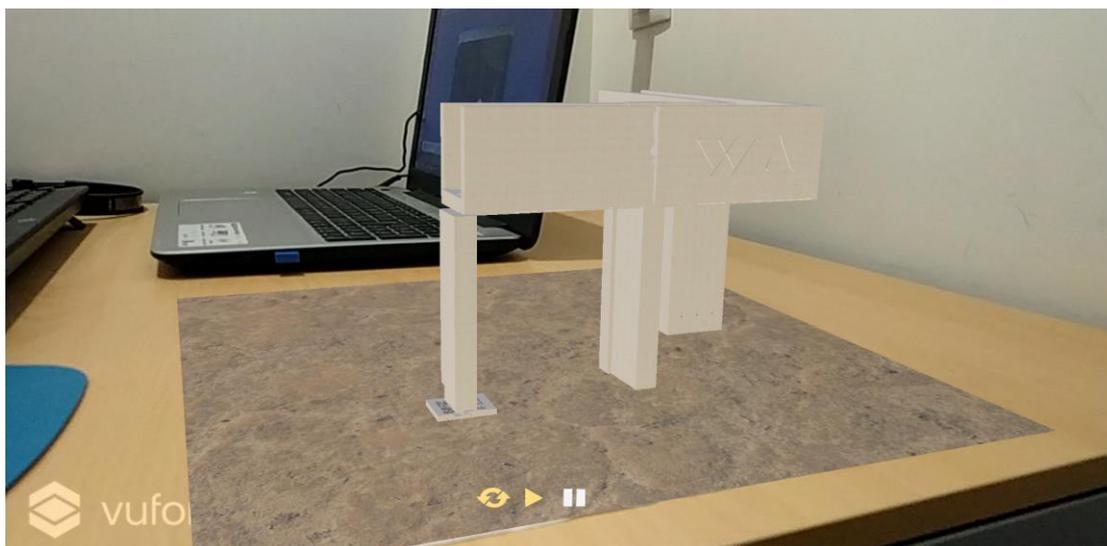


Figura 54 - APK.3 em execução, resultado final

O aspeto final da APK.3 apresenta-se na Figura 54. Após este momento, a animação está concluída, mas se permanecerem algumas dúvidas relativas ao modelo, a sequência de montagem em si, o utilizador pode reiniciar a animação no respetivo botão.

Outros conteúdos poderiam ser adicionados, como as medidas reais de cada peça, ou um menu onde fosse permitido visualizar cada peça individualmente, indicando as suas dimensões e composição, mas acredita-se que esta aplicação reúne credibilidade suficiente, pelo facto de que é possível pensar esses múltiplos cenários otimizados a partir dela.

4.3 Aplicações em Realidade Virtual

4.3.1 Processo

A Realidade Virtual desencadeou a possibilidade de realizar este trabalho em parceria com o Grupo Shay Murtagh e desde o momento inicial que esse seria o principal tema a ser explorado do ponto de vista prático, ou seja, o grande foco estaria virado para desenvolver uma aplicação totalmente virtual, como o maior desafio em termos de conteúdo e tempo dedicado.

Depois de serem criadas três aplicações em RA, era o momento de produzir algo que desafiasse a aprendizagem adquirida até aqui, tornando-a mais complexa. Surge a ideia de simular uma situação real em obra, onde pudesse ser visto parte do trabalho que é executado por este grupo, como se estivesse no local, ou seja, a criação de uma Realidade Virtual.

Para isso ser possível era necessário escolher um projeto que permitisse apresentar essa visão e definir quais os parâmetros a ser demonstrados na APK final. O ciclo de vida de uma obra é longo e as opções são vastas, mas o interesse estava em demonstrar como o Grupo Shay Murtagh pode intervir no mundo da construção e desta forma a escolha recaiu num pormenor de montagem de uma fachada em betão pré-fabricado, de dois edifícios de luxo, situados em Londres, cujo projeto estava a ser desenvolvido em paralelo nesse período, pela equipa responsável.

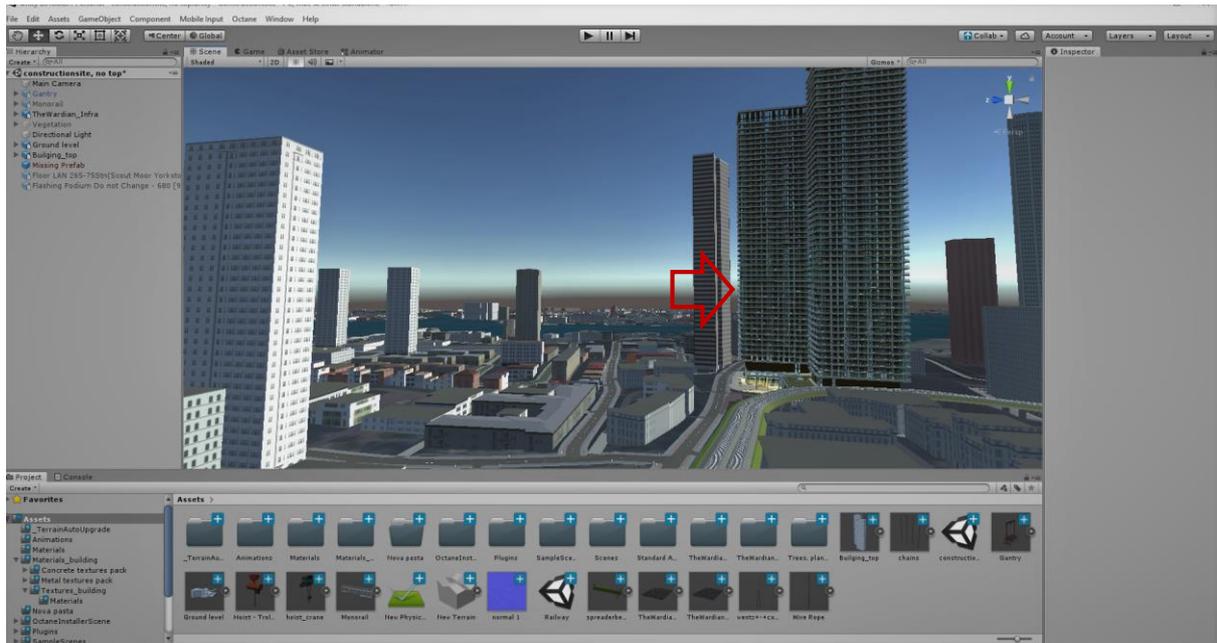


Figura 55 - APK.RV

Com esta primeira imagem é possível ter uma ideia do que é pretendido, após o enquadramento prévio. Do lado direito da Figura 55, na janela denominada *Scene*, estão devidamente assinalados os edifícios em questão. Neste cenário estão incluídos três modelos provenientes de *software* diferente, apresentado no esquema sobre a metodologia adotada para este estudo – Autodesk Revit, Tekla Structures e Autodesk Infraworks. O que eles oferecem em comum é a possibilidade de exportar os seus ficheiros no formato “.fbx”, que é igualmente compatível com o motor de jogo Unity e reiterado pelos desenvolvedores da área, como um dos formatos com maior consistência no transporte de informação.



Figura 56 - APK.RV, divisão do modelo

Do Autodesk Revit foi exportado o modelo dos pisos destinados a habitação, como ilustra a Figura 56, isto é, a parte do modelo identificada com o número “1” na imagem, sendo que o piso térreo, representado com o número “2”, foi obtido através do Tekla Structures. A razão por detrás da divisão do modelo, está diretamente ligado aquilo que é o modo de trabalho do Grupo Shay Murtagh e uma das principais vantagens do BIM. Eles estão responsáveis por projetar apenas o modelo dois, onde irá ser colocado o betão pré-fabricado ao longo de toda a fachada, cuja equipa de trabalho responsável desenvolveu-o no Tekla. Por outro lado, o modelo “1” foi desenvolvido no Revit, talvez por uma questão de comodidade dos responsáveis, o que não limita de forma alguma o desenrolar do projeto, visto que, o BIM permite a troca de informação entre *software* diferente, desde que os formatos de exportação e/ou importação sejam compatíveis.

Nestes dois modelos está retida uma das etapas mais longas na criação desta aplicação. As duas torres em conjunto têm 105 pisos, e todos os elementos foram devidamente caracterizados, um a um, com os respetivos materiais de forma a apresentar o maior realismo possível.



Figura 57 - APK.RV, Autodesk Infraworks

Para além dos edifícios, existia a necessidade de enquadrá-los num ambiente real, de modo a dar mais consistência ao modelo. Numa fase inicial foram pensados e testados alguns cenários hipotéticos, mas eis que surge o Autodesk Infraworks. Este *software* consiste, de uma forma resumida, em fazer um mapeamento 3D de qualquer área do globo terrestre. Isto possibilitou colocar o modelo na sua localização exata em Londres, sendo desta forma o cenário ideal (Figura 57).

Depois das considerações tecidas, para justificar o uso de três tipos de *software* diferente, é tempo de focar e objetivar a missão principal desta aplicação e apresentar outros conteúdos desenvolvidos.

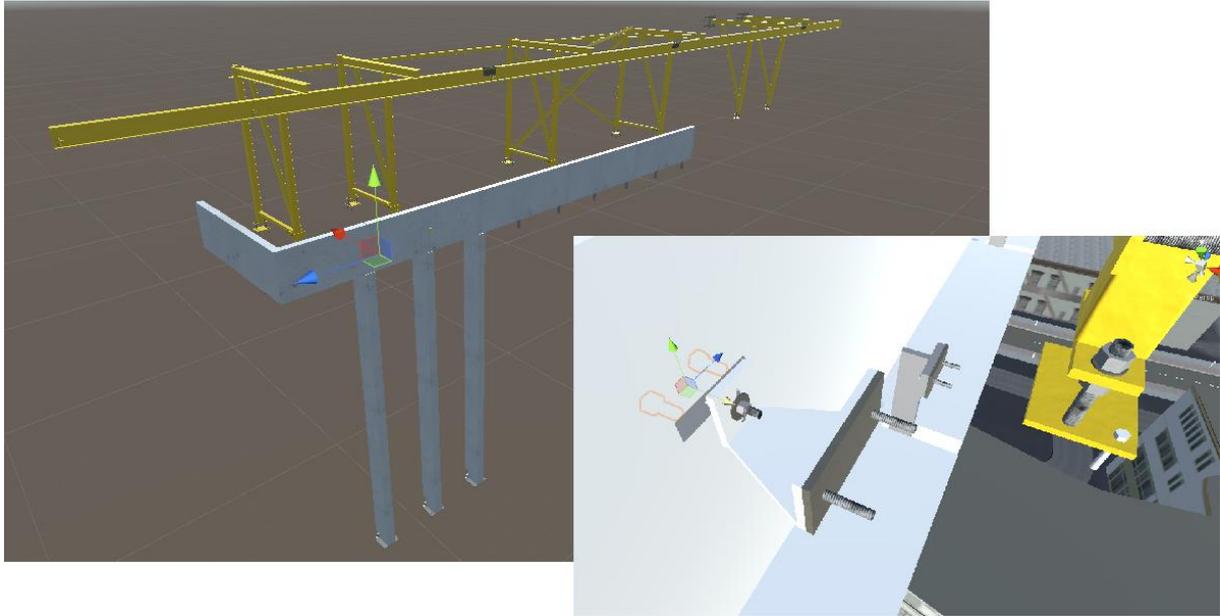


Figura 58 - APK.RV – Monorail e elementos estruturais

Na Figura 58 estão os objetos do modelo que se pretendem animar: *monorail* (estrutura em aço que permite erguer e transportar elementos estruturais), pilares e painéis de betão pré-fabricado, bem como alguns detalhes na sua fixação. A ideia passa por demonstrar o processo de montagem destas componentes diretamente no local da obra, anteriormente referido, retratando aquilo que poderia acontecer na realidade. Ao longo da principal barra horizontal do monorail, é colocado um guindaste de elevação que percorrê-la-á em toda a sua extensão, à semelhança de um carril, permitindo aos construtores colocar os elementos com precisão no devido local. Primeiro serão os pilares e respetivas fixações e por fim os painéis em “L”.



Figura 59 - Monorail no local da obra

Isto permite instruir a equipa de construção para evitar possíveis erros, aumentar a sua segurança em obra ou ainda otimizar a logística de montagem. Pegando neste caso em concreto, como se pode observar na Figura 59, tem-se o *monorail* no local da construção sobre a fachada do lado direito. Pode ser observado também uma passagem aérea para o metro, que diariamente transporta um número infindável de cidadãos para o emprego, junto do local da obra. Um dos debates para este projeto consistia em como proceder na montagem ou no transporte de elementos para a obra sem afetar a vida dos locais, que não pretendem ver o seu meio de transporte principal afetado, o que influenciaria negativamente a vida normal da cidade com impactos monetários e sociais. Este tipo de aplicações que combina a RV com o BIM, aprimora e permite criar diversos cenários de formação, para que o impacto seja mínimo nestes e outros casos.

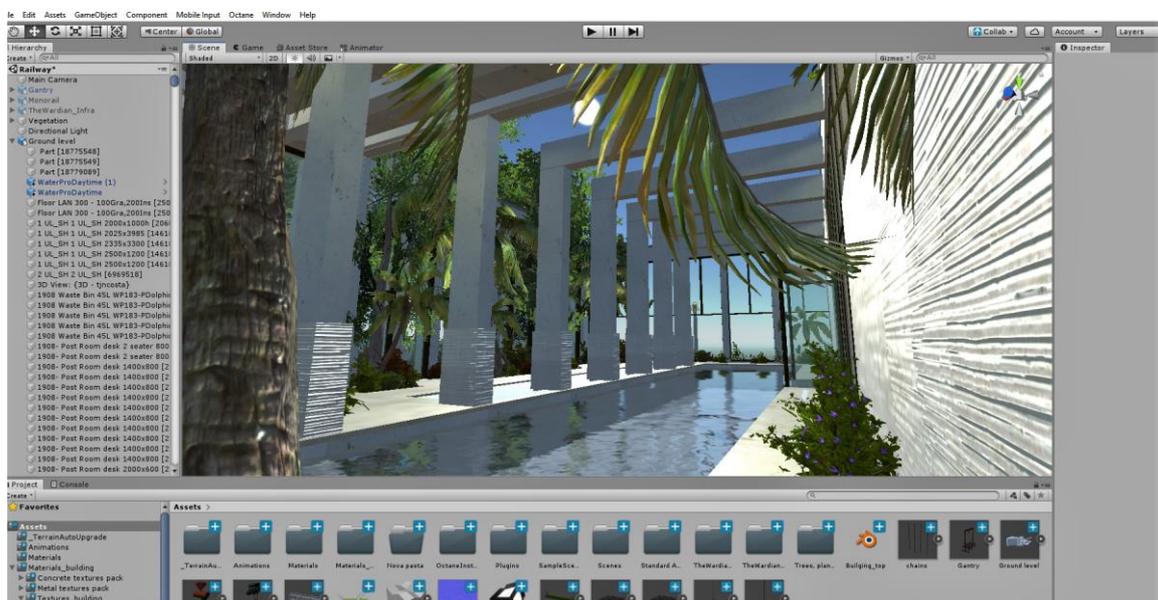


Figura 60 - APK RV, vista da piscina

A Figura 60 retrata uma parte da parte da aplicação, que pode ser visto como um extra, mas não menos importante, pois acrescenta realismo ao cenário final pretendido. Este exemplo serve para demonstrar outras capacidades do motor de jogo Unity. Através da sua *Asset Store*, uma espécie de loja *online* incorporada neste *software*, é possível importar modelos desenvolvidos por outros utilizadores da comunidade (pagos e não pagos) para o cenário de jogo, como é o caso da vegetação ou da água da piscina visíveis na figura.



Figura 61 – APK.RV final

Numa perspetiva final da APK.RV, como mostra a Figura 61, é de referir a componente *Animation*, mais uma vez usada para simular a realidade no processo de montagem apresentado. Sendo esta aplicação mais exigente do que as anteriores, a dificuldade aumentou na coordenação dos objetos a serem animados, porque para além de existirem em maior número, havia uma cadência pensada e que tinha de ser respeitada para que o resultado final fosse o mais natural possível. Quando a variável tempo entra em cena, se um determinado objeto se desloca no espaço a uma velocidade atípica, terá de ser reajustado bem como outras ações que possam depender do mesmo, colmatando num regime exaustivo e minucioso.

Outra novidade nesta aplicação está na manipulação da câmara de jogo. A forma mais simples de a interpretar é o utilizador pensá-la como se fossem os seus olhos. Desta forma, o objetivo para a mesma será começar num ponto alto do cenário, bem acima do modelo projetado, para dar um enquadramento geral do local onde se insere. Lentamente a câmara vai baixando na direção dos edifícios, aproximando o suficiente para focar os materiais (texturas) utilizados com maior precisão, passando pela zona da piscina exterior e envolvente, e de seguida ir ao encontro do momento chave, a montagem da fachada.

Para concluir é de salientar a principal limitação encontrada com esta aplicação. Como não existia conhecimento profundo do *software*, também não existiam barreiras que limitassem a criação de conteúdo. O objetivo passou por tornar cada aplicação mais complexa do que a anterior, sendo essa a premissa do ponto de vista evolutivo. Como neste projeto, existia uma quantidade de informação desmedida, o motor de jogo começou a falhar e a ficar lento. Tentou-se reduzir a qualidade de imagem ou eliminar elementos

do cenário que estivessem a mais, para voltar ao desempenho normal do computador, mas tal não foi suficiente para resolver o problema. Em suma, a aplicação não foi compilada, representando uma falha do ponto de vista prático, mas não do prisma teórico, visto que, é perceptível o seu potencial pelo processo aqui exposto.

5. CONCLUSÕES

A incorporação da RVC ao BIM não é uma novidade, mas ainda tem muito para ser explorada, não só em conjunto, como também individualmente. Conhecendo o panorama nacional com o olhar posto na realidade global, a resistência à mudança está bastante patente na maioria dos casos. Este estudo, apesar de ter sido realizado em Portugal, no departamento de projeto da empresa, retrata a realidade de um mercado externo (Reino Unido) onde o BIM está bem implementado, pelo que não permite ter uma noção tão exata de como esta metodologia está a ser posta em prática pelas empresas portuguesas, a não ser de uma perspetiva teórica.

Sendo o BIM uma realidade de trabalho no Grupo Shay Murtagh, a compreensão e implementação da RVC seria mais simplificada, quando comparada a empresas que apenas usam os métodos tradicionais. Os trabalhadores e o sistema de funcionamento do grupo estão mais capacitados na comunicação eficiente através de *software* BIM, o hábito de modelar em 3D ou ainda com o planeamento de uma obra para todo o ciclo de vida de um edifício. Os inquéritos elaborados servem como prova disso mesmo, contudo pela interpretação dos seus resultados conclui-se que a comunicação no geral poderia ser otimizada, papel que a RVC poderá assumir no futuro pela boa receptividade que os colaboradores demonstraram em relação ao tema.

A exploração da Realidade Virtual levou a concluir que a sua própria definição ainda não está bem resolvida, motivo que levou adotar o termo RVC, ainda numa fase inicial, quando se pretende referir ao seu conceito de um modo generalizado.

As limitações que existiam pela falta de experiência na linguagem de programação C# e no *software* Unity, levaram a produzir aplicações virtuais que superaram as expectativas pelo seu potencial prático, mas tornam-se evidentes em alguns aspetos estéticos e principalmente na impossibilidade de compilar a APK.RV final, devido ao excesso de informação no modelo.

Com este estudo foi possível alcançar os objetivos propostos quase na sua totalidade, ficou essencialmente em falta a utilização de algum *hardware* como os óculos virtuais (HMD ou *Headset*), que permitiriam explorar o produto final de outra forma, e um sistema integrado com uma base de dados superior, para que o desenvolvimento da RVC fosse mais fluido e capaz.

Colocando esta dissertação na vertente de *R&D* do Grupo Shay Murtagh, a sua aplicabilidade foi bem recebida à medida que as APK eram testadas. A RA foi a metodologia que reuniu mais consenso e surpresa de um modo generalizado, pela forma como exhibe o seu conteúdo no envio de modelos para a fábrica. É vista como uma das soluções para minimizar os erros na comunicação entre o projeto e a produção. A possibilidade de um operário fabril, na produção de peças de betão pré-fabricado poder visualizar o modelo final pretendido diante dos seus olhos e com maior detalhe, estabelece uma maior segurança no resultado pretendido.

O *feedback* em relação à APK.RV foi positivo, pois apesar de não existir um formato final, o seu papel educacional ou até mesmo comercial é perceptível naquilo que foi o desenvolvimento da aplicação.

Na perspetiva da implementação da metodologia RVC no grupo, o objetivo foi cumprido no momento em que os inquiridos demonstraram receptividade por parte dos colaboradores à sua adoção e pela facilidade de a intercalar, segundo o mapa de processos previamente exposto, com o BIM.

Várias indústrias utilizam o teste à destruição para analisar a viabilidade dos seus produtos e verificar até que ponto poderão ser otimizados antes de serem inseridos no mercado. Até ao aparecimento da RVC a par do BIM, tal pensamento não seria possível para o mundo da construção. Não existia um método para testar erros ou falhas antes da obra estar concluída, com este nível de realismo, sendo que a maior parte deles são detetados e resolvidos já no local com a adoção da metodologia tradicional. A ascensão da RVC e outras tecnologias é o culminar das necessidades sociais atuais. Um mundo que viveu demasiado tempo estagnado na adoção de estratégias pouco sustentáveis e agora vê-se obrigado a corrigi-las com o auxílio da tecnologia, atendendo a um bom planeamento, testando uma infinidade de cenários, para encontrar a solução ótima e evitar que as mesmas falhas se propaguem no futuro.

BIBLIOGRAFIA

- Addis, B. (2007). *Building – 3000 Years of Design, Engineering and Construction*. (I. Phaidon Press, Ed.). London: Phaidon.
- Aguiar Costa, A. (n.d.). CT197 BIM. Retrieved from <http://www.ct197.pt/index.php>
- AIA California Council. (2007). Integrated Project Delivery: A Guide. *American Institute of Architects*, 1–62. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.002>
- Api, A., Library, S. T., Api, J., Api, G. M., Services, X. M. L. W., & Maps, G. (2015). Application programming interface. *Access*, 1–7. <https://doi.org/10.1093/jicj/mqt027>
- Autodesk. (2017). CAD + Augmented & Virtual Reality - Fusion 360 Blog. Retrieved from <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/cad-augmented-virtual-reality/?fbclid=IwAR0cKIMTHuhq29eSt70I8BamU1K40FRkEFCjJ0ubQjPr36uaeAl8QJlIZes>
- Azenha, M., Caires, B., & Lino, J. C. (n.d.). BIM CLUB. Retrieved from <http://www.bimclub.pt/index.html>
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry, *3*, 241–253.
- Bamodu, O., & Ye, X. M. (2013). Virtual Reality and Virtual Reality System Components. *Advanced Materials Research*, *765–767*, 1169–1172. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.765-767.1169>
- Barbara Smith, Joicey Hurth, L. P., & Evelyn Shaw, Kathy Whaley, M. P. and G. D. (2014). a Guide To Implementation Processes. *Ecta Centre*, 1–15. Retrieved from <http://ectacenter.org/~pdfs/implementprocess/implementprocess-stagesandsteps.pdf>
- Behzadi, A. (2017). Using Augmented and Virtual Reality Technology in the Construction Industry, (January), 350–353.
- Bouchlaghem, N. M., & Liyanage, I. G. (1996). Virtual reality applications in the UK's construction industry. *Construction Informatics*, 89–94. Retrieved from <http://itc.scix.net/data/works/att/w78-1996-89.content.pdf>
- BuildingSMART. (n.d.). buildingSMART Portugal. Retrieved from <https://buildingsmart.pt/>
- Caitlin W. (2018). New Asset Store Plugin helping developers to visualize BIM models in Unity – Unity Blog. Retrieved from <https://blogs.unity3d.com/pt/2018/12/06/new-asset-store-plugin-helping-developers-to-visualize-bim-models-in-unity/>
- Campos, M. (2002). A CONSTRUTIBILIDADE EM PROJECTOS DE EDIFÍCIOS PARA O ENSINO SUPERIOR PÚBLICO EM PORTUGAL. CAPÍTULO 2 – A EVOLUÇÃO DA CONSTRUÇÃO. PERSPÉCTIVA E ENQUADRAMENTO HISTÓRICO.
- Crotty Ray. (2012). *the impact of Building information modeling transformation construction*. <https://doi.org/10.4324/9780203836019>
- Cunha, M. M. da S. B. da. (2017). *AMBIENTES VIRTUAIS E IMERSIVOS EMPREGO DA REALIDADE VIRTUAL NA CONCEÇÃO E NA COMUNICAÇÃO DO PROJETO DE ARQUITETURA*. Faculdade de Arquitetura Universidade de Lisboa. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2010.02280.x>
- Diaz, P. . (2016). Analysis of Benefits, Advantages and Challenges of Building Information Modelling in Construction Industry. *Journal of Advances in Civil Engineering*, *2(2)*, 1–11. <https://doi.org/10.18831/djcivil.org/2016021001>
- Dinis, F. A. M. (2016). Desenvolvimento de processos de interação entre tecnologia BIM e equipamentos de Realidade Virtual e sua aplicabilidade, 113.
- Dredge, S. (2016). The complete guide to virtual reality – everything you need to get started. Retrieved from <https://www.theguardian.com/technology/2016/nov/10/virtual-reality-guide-headsets-apps-games-vr>
- Eastman, C. M. (2011). *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers,*

- designers, engineers and contractors*. Wiley. Retrieved from <https://www.wiley.com/en-us/BIM+Handbook%3A+A+Guide+to+Building+Information+Modeling+for+Owners%2C+Managers%2C+Designers%2C+Engineers+and+Contractors%2C+2nd+Edition-p-9780470541371?fbclid=IwAR0CIXKs6gAKTMOw8WK67ale621NxHuBmmxe7z4UZQ8NwFGPIIfWSxn7BZ4>
- Edward Martin. (2018). Unity Partners with PiXYZ Software to unlock CAD data for real-time development – Unity Blog. Retrieved from <https://blogs.unity3d.com/pt/2018/03/06/unity-partners-with-pixyz/>
- Felix Richter. (2016). The Diverse Potential of VR & AR Applications | Statista. Retrieved from <https://www.statista.com/chart/4602/virtual-and-augmented-reality-software-revenue/>
- Glass/Google. (n.d.). Google Glass. Retrieved from <https://x.company/glass/>
- Goldstone, W. (2011). *Game Development Essentials*. Packt Publishing Ltd.
- Haas, J. (n.d.). A History of the Unity Game Engine. Retrieved from https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-030614-143124/unrestricted/Haas_IQP_Final.pdf
- Hendler, J., Berners-lee, T., & Miller, E. (2017). Building Without Barriers, (August).
- Jönsson, E. (2015). *Consequences of Implementing the buildingSMART Data Dictionary - From a construction company's perspective*.
- Kevin L. Burr, E. D., & Chad B. Jones, M. S. (2010). The Role of the Architect: Changes of the Past, Practices of the Present, and Indications of the Future. *International Journal of Construction Education and Research*, 6(November 2015), 122–138. <https://doi.org/10.1080/15578771.2010.482878>
- Kreider, R. G., & Messner, J. I. (2013). The uses of BIM. *Classifying and Selecting BIM, Pennsylvania State University (9th Version)*.
- Lai, H., & Deng, X. (2018). INTEROPERABILITY ANALYSIS OF IFC-BASED DATA EXCHANGE BETWEEN HETEROGENEOUS BIM SOFTWARE, 24(7), 537–555.
- Li, X., Yi, W., Chi, H. L., Wang, X., & Chan, A. P. C. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, 86(November), 150–162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>
- Logical Increments. (2018). Building the Best PC for Virtual Reality. Retrieved from <http://www.logicalincrements.com/articles/vrguide>
- Ltd COMIT Projects. (2017). HoloLens : Using Augmented Reality to visualize 3D / 4D in site and in 1 : 1 scale ., 3–5.
- Marasini, R., & Patlakas, P. (2015). the Potential of Building Information Modelling (Bim) for Precast Concrete, (September 2014).
- Mazuryk, T., & Gervautz, M. (1991). Virtual Reality: History, Applications, Technology and Future. *Institute of Computer Graphics Vienna University of Technology, Austria*. <https://doi.org/392132>
- Microsoft. (n.d.). Microsoft HoloLens. Retrieved from <https://www.microsoft.com/en-us/hololens?SilentAuth=1&wa=wsignin1.0>
- Microsoft. (2016). Release notes - March 2016 - Mixed Reality | Microsoft Docs. Retrieved from <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/release-notes-march-2016>
- Microsoft. (2018). Layout | Microsoft Dynamics 365. Retrieved from <https://dynamics.microsoft.com/en-us/mixed-reality/layout/>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1994). Mixed Reality (MR) Reality-Virtuality (RV) Continuum. *SPIE Vol. 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies, 2351, 282–292*. Retrieved from [http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Mixed+Reality+\(+MR+\)+Reality-Virtuality+\(+RV+\)+Continuum#0](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Mixed+Reality+(+MR+)+Reality-Virtuality+(+RV+)+Continuum#0)
- Oculus. (n.d.). Oculus. Retrieved from <https://www.oculus.com/>
- Ozbek, M. E. (2018). Building Information Modeling (BIM) and Legal and Contractual Considerations.

- Palhares Rodrigues, G., & de Magalhães Porto, C. (2013). Realidade Virtual: Conceitos, Evolução, Dispositivos E Aplicações. *Interfaces Científicas*, 97–109. <https://doi.org/10.17564/2316-3828.2013v1n3p97-109>
- Piroozfar, P., Essa, A., Boseley, S., Farr, E. R. P., & Jin, R. (2018). Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) in construction industry: An experiential development workflow. *The Tenth International Conference on Construction in the 21st Century*, (July). Retrieved from <http://ascpro.ascweb.org/chair/paper/CPRT195002016.pdf>
- PTPC. (n.d.). Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção. Retrieved November 30, 2018, from <https://www.ptpc.pt/>
- Reizgevičius, M., Ustinovičius, L., Cibulskienė, D., Kutut, V., & Nazarko, L. (2018). Promoting Sustainability through Investment in Building Information Modeling (BIM) Technologies: A Design Company Perspective, (4), 21. <https://doi.org/10.3390/su10030600>
- Salih, S. (2012). *The Impact of BIM/VDC on ROI: Developing a Financial Model for Savings and ROI Calculation of Construction Projects. Department of Real Estate and Construction Management.* <https://doi.org/10.1016/j.avb.2017.01.013>
- Scott, L., Flood, C., & Towey, B. (2013). Integrated Project Delivery for, *6583*(May 2016), 452–462.
- Šmid, A. (2017). Comparison of Unity and Unreal Engine, (May), 69. Retrieved from <http://dcgi.felk.cvut.cz/projects/pacman-benchmark/thesis-compressed.pdf>
- Thomassen, M. (2011). *BIM & Collaboration in the AEC Industry. Thesis.* <https://doi.org/10.1016/j.joca.2014.09.025>
- Trimble. (n.d.). Trimble Connect. Retrieved from <https://connect.trimble.com/>
- Unity, & Autodesk. (2018). Unity and Autodesk: Powering immersive experiences with more efficient workflows – Unity Blog. Retrieved from https://blogs.unity3d.com/pt/2018/11/13/unity-and-autodesk-powering-immersive-experiences-with-more-efficient-workflows/?_ga=2.145300084.1175974521.1547655333-948800496.1509899977
- Valve/HTC. (n.d.). HTC Vive. Retrieved from <https://www.vive.com/eu/>
- Venâncio, M. J. L. (2015). *AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE BIM – BUILDING INFORMATION MODELING EM PORTUGAL.*
- Vidal, A. L. (2017). To “ BIM ” or not to “ BIM ” – The precast concrete industry challenge, (1). Virtual Reality Society. (n.d.). History of Virtual Reality. <https://doi.org/2016-11-20>
- Vuzix Corporation. (2016). M300 Smart Glasses. Retrieved from <https://www.vuzix.com/Products/m300-smart-glasses>
- WakingApp. (2016). Autodesk Augmented Reality Showcase | WakingApp. Retrieved from <https://www.wakingapp.com/showcase-autodesk>
- Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H. L., & Wang, X. (2018). A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061204>
- Wang, X., Truijens, M., Hou, L., Wang, Y., & Zhou, Y. (2014). Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. *Automation in Construction*, 40, 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.12.003>
- Wilkinson, P. (2012). From email to BIM: 20 years of construction collaboration technologies, (May). Retrieved from <http://www.slideshare.net/EEPaul/from-email-to-bim-20-years-of-construction-collaboration-technologies>
- Woksepp, S. (2007). *Virtual Reality in Construction Tools , Methods and Processes. Construction Innovation.*
- Wu, Z., & Wu, I. (2015). Design and Implementation of an IFC Data Model to Unity Data Model Transformation Mechanism.

ANEXO I – QUESTIONÁRIOS ELABORADOS NO GRUPO SHAY MURTAGH

Questionário

Realidade Virtual/Building Information Modeling

Este questionário servirá de análise à Dissertação resultante da parceria entre a empresa Shay Murtagh e a Universidade do Minho com o tema "Aplicação das Metodologias BIM/VR no Betão Pré-fabricado". O objetivo passa por interpretar o conhecimento sobre estas temáticas em alguns setores da empresa, maioritariamente debruçado na fase de projeto e na de fabrico. Existe uma série de questões sobre as potencialidades da RV numa realidade futuramente próxima. O papel desta Dissertação é esse mesmo, perceber qual o caminho a ser feito para a implementação da Realidade Virtual (RV) em comunhão com o Building Information Modeling (BIM) no mundo da pré-fabricação e que melhorias poderá incrementar. Posto isto, resta agora embarcar nesta pequena viagem com dois cenários distintos:

Cenário 1: Chegamos ao local de trabalho e sentamo-nos na mesa em frente ao computador.

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

1. Antes de dar início ao questionário em si, qual a equipa de trabalho que representa?



- Projeto
- Fabrico
- Gestão
- Logística
- Obra

2. Como avalia o seu conhecimento em relação à metodologia BIM?

Classifique.



3. Acha que a metodologia BIM trará inúmeras vantagens em relação ao método tradicional?

Se responder às duas últimas refira um exemplo.

Concordo absolutamente

Concordo

Existem lacunas

Discordo

Exemplo (se aplicável): _____.

4. Qual o *software* mais utilizado na sua rotina de trabalho?

Selecione uma ou mais respostas.

Tekla

Revit

AutoCAD

Microsoft Office

Outro: _____.

5. Como avalia a comunicação entre os sectores de projeto e fabrico da empresa?

Classifique.



6. Após uma prévia avaliação à comunicação entre setores e de acordo com a função que ocupa na empresa, que melhoria gostaria de ver resolvida nessa interação?

Refira uma ou mais caso ache necessário.

_____.

REALIDADE VIRTUAL

7. Como avalia o seu conhecimento em relação à Realidade Virtual?
Classifique.



8. Estes são os diferentes campos aos quais se estende o mundo da Realidade Virtual. Qual destes se adaptaria melhor à sua realidade de trabalho?
Selecione uma resposta.



Realidade Virtual (RV) - Ambientes virtuais que excluem o mundo real.



Realidade Aumentada (RA) - Ambientes virtuais que incluem o mundo real.



Realidade Mista (RM) - Ambientes virtuais que interagem com o mundo real.

9. Com as opções anteriores em mente, qual delas serviria melhor às áreas que se seguem:
Coloque à frente de cada área as siglas RV, RA ou RM de acordo com a sua preferência

Projeto: _____.

Fábrica: _____.

Área comercial: _____.

Montagem (obra): _____.

10. Irá a metodologia RV ajudar na comunicação entre equipas dos diferentes setores da empresa?
Classifique.



11. Os headsets utilizados nesta área permitem ao indivíduo a imersão completa no espaço recriado. Quais deles conheces ou já ouviste falar?
Selecione uma ou mais respostas.

Oculus Rift

Samsung Odyssey/Windows Miced VR

Sony Playstation VR

HTC Vive

Hololens

Oculus GO

Samsung Gear VR

Google Daydream View

Google Cardboard

Outro: _____.

Cenário 2: Imagine o mesmo cenário, mas desta vez com os *headsets* anteriormente referidos e escolhamos testá-los.

12. Imersos num mundo virtual aplicado à metodologia de trabalho da empresa, o que espera encontrar?

Selecione um ou mais.



Peças 3D betão pré-fabricado

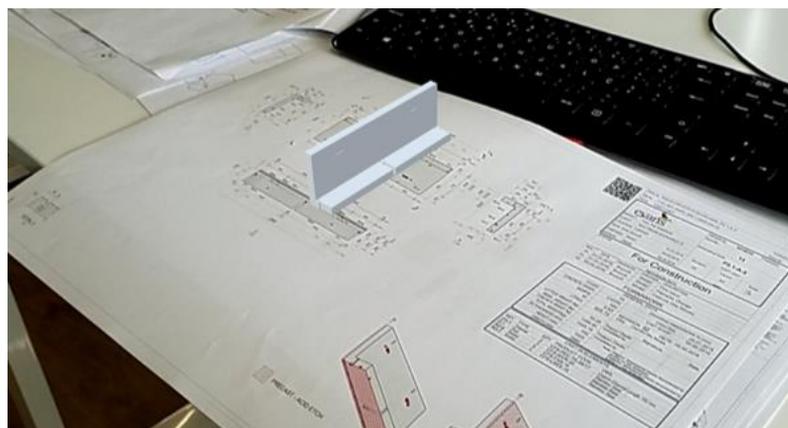
Sequências de montagem do edifício

Montagem em estaleiro.

Outro: _____.

13. Sabendo que para uma experiência RV se pode recorrer também a tablets e smartphones num modo de visualização, faria sentido a sua utilização na fase de projeto e/ou fabrico?

Classifique. Visualização via Tablet.



14. A RV permite uma visualização otimizada ao utilizador do modelo. Irá este incremento melhorar a gestão de um projeto?

Selecione uma resposta.

Discordo absolutamente

Discordo

Concordo

Concordo absolutamente

15. Será a RV uma melhoria na interação com o cliente?

Selecione uma resposta.

Discordo absolutamente

Discordo

Concordo

Concordo absolutamente

16. A Realidade Virtual tem tomado conta da atualidade. Seria importante para a empresa apostar em R&D (investigação e desenvolvimento) de aplicações RV?

Classifique.



ANEXO II – MAPA DE PROCESSOS

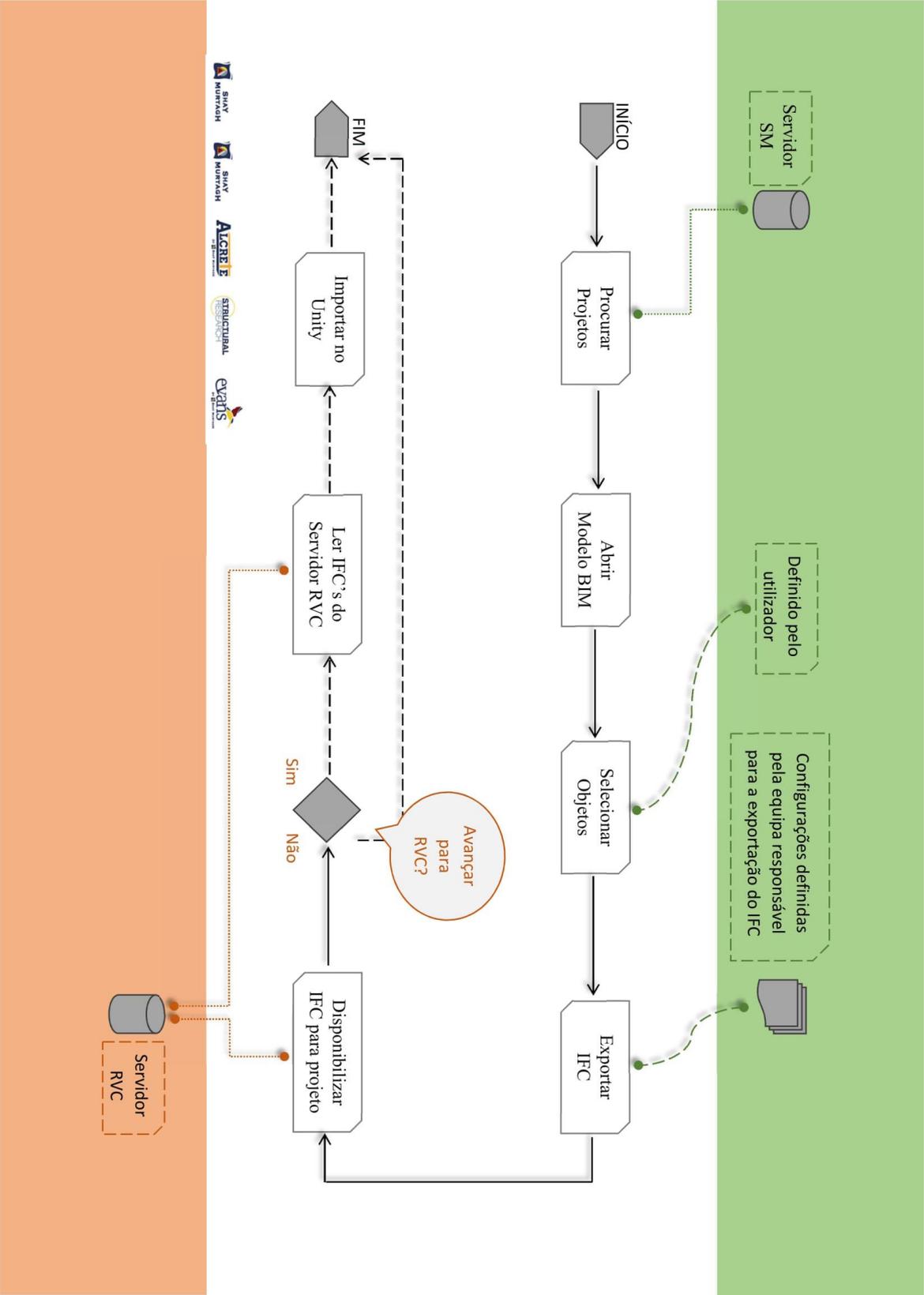


Figura 62 - Mapa de Processos

ANEXO III – IMAGENS ALVO UTILIZADAS NAS APK

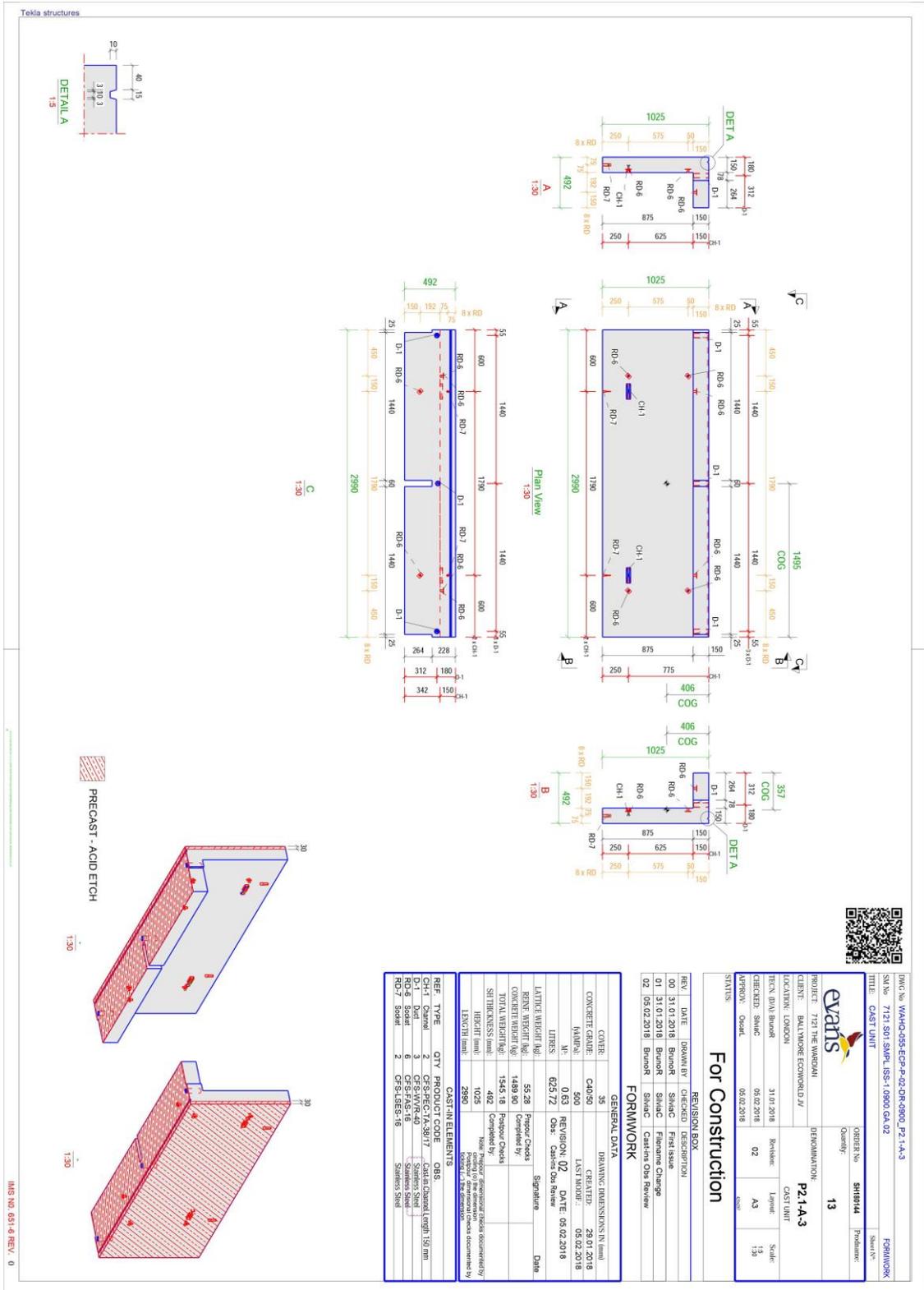
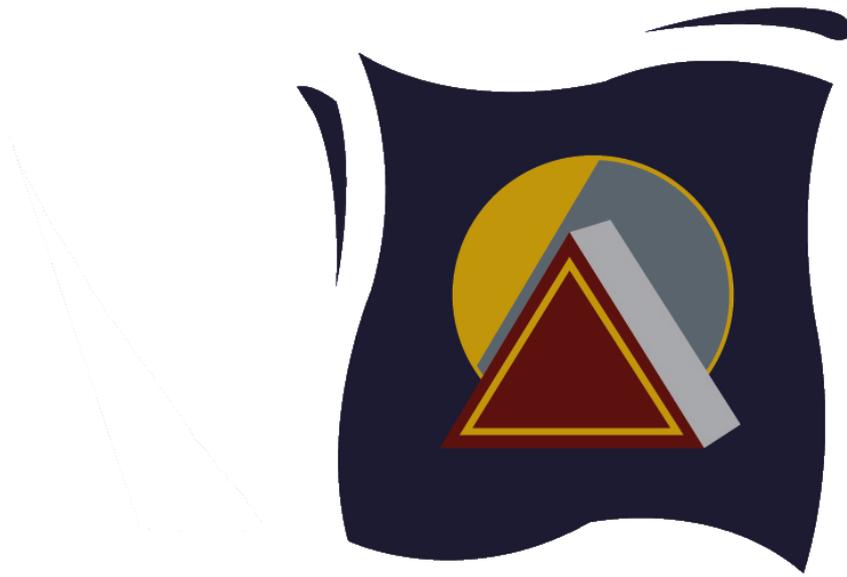


Figura 63 - Imagem alvo APK.1



SHAY MURTAGH

Figura 64 - Imagem alvo APK.2 e APK.3