

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Exploração dos benefícios mútuos entre BIM e jogos de simulação

Vítor Hugo Torres Mineiro



Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientador: Rosaldo José Fernandes Rossetti

Co-orientador: Miguel Ângelo Dias Azenha

25 de Julho de 2016

Exploração dos benefícios mútuos entre BIM e jogos de simulação

Vítor Hugo Torres Mineiro

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Daniel Augusto Gama de Castro Silva

Arguente: Luís Paulo Gonçalves dos Reis

Vogal: Rosaldo José Fernandes Rossetti

25 de Julho de 2016

Resumo

Nos últimos anos tem-se verificado um crescimento de jogos sérios e de simulação. Este tipo de jogos tem como principais objetivos apoiar o treino de pessoas ou equipas, estudar o comportamentos dos jogadores perante determinadas situações ou simulação de vários cenários de forma a prever resultados finais de soluções adotadas.

Um fator de grande relevância para a eficácia do uso de jogos sérios e jogos de simulação é o envolvimento do jogador no jogo. Tal envolvimento influencia as ações do próprio jogador no decorrer do jogo. Neste sentido, quanto mais imerso estiver o jogador maior será o seu envolvimento e mais naturais e espontâneas serão as suas ações. No caso do jogo ter como fundamento a análise comportamental de pessoas em situações de emergência ou risco, como por exemplo evacuação de um edifício em chamas, este envolvimento torna-se um elemento chave para que os dados recolhidos durante o jogo sejam fidedignos de forma a poderem ser utilizados noutros estudos e simulações.

A imersão de um jogador é influenciada por vários aspetos. Um dos aspetos principais é o ambiente de jogo, onde se encaixa o cenário. O reconhecimento do ambiente de jogo por parte do jogador, torna-o mais familiar com o jogo. Desta forma o jogador, inconscientemente, sente-se mais envolvido durante o jogo o que o leva a uma maior imersão no jogo.

No desenvolvimento de jogos, a modelação do cenário de jogo é realizada normalmente de raiz pelos programadores. Esta tarefa é tanto mais custosa quanto maior for o detalhe do cenário. Contudo, ao replicar um edifício real de raiz, os programadores estão a repetir uma tarefa que já foi executada por arquitetos e engenheiros aquando da sua conceção. Esta duplicação de esforços, para além de desnecessária, por vezes fica aquém do expectável. A dificuldade dos programadores em obterem a informação necessária para a criação do cenário leva a que os cenários se afastem da realidade.

Paralelamente a estes crescimento da indústria de vídeo jogos, tem-se verificado também um crescimento do conceito Building Information Modeling (BIM), que consiste na representação digital das características físicas e funcionais de um edifício. Assim, toda a informação associada a um edifício passa a estar reunida de forma a melhorar o processo de desenvolvimento do edifício tornando-o mais colaborativo através da partilha de informação entre as entidades envolvidas. A representação geométrica do edifício, o mobiliário, os materiais aplicados (propriedades físicas e visuais) são elementos relevantes para o desenvolvimento de jogos e que passam a estar acessíveis através do BIM.

Neste trabalho explora-se a integração do conceito BIM e jogos de simulação, no sentido de aproveitar as potencialidades do BIM para a criação de cenários de jogos de simulação, e ao mesmo tempo melhorar a navegação e interação dos modelos BIM através dos motores de jogos. Assim o resultado deste trabalho é uma solução, baseada numa arquitetura Cliente-Servidor, que permite a interoperabilidade de softwares. A solução engloba o protocolo de mensagens para viabilizar a troca de informação entre os softwares e inclui o processo de criação de cenários de jogo a partir de modelos BIM.

Abstract

In recent years there has been a growth of simulation and serious games. This type of game has as main objectives to support the training of individuals or teams, studying the behavior of the players when faced with certain situations or simulating of various scenarios in order to predict the final results of the solutions adopted for these scenarios.

A very important factor for the effectiveness of the use of serious games and simulation games is the involvement of the player in the game. Such involvement influences the actions of the player during the game. In this sense, the more immersed is the player greater will be his involvement and more natural and spontaneous will of his actions. If the game focus is the analysis of people's behaviour in hazardous situations, such as evacuation of a burning building, this involvement becomes a key element for data collection during the game in order to gather reliable data so can be used in other studies and simulations.

The immersion of a player is influenced by several aspects. One of the main aspects is the game environment which includes the scenario. The recognition of the game environment by the player, makes the game more familiar. This way the player unconsciously gets more involved with the game and leads it to a greater level of immersion in the game.

In game development, modeling of the game scenario is performed usually from the beginning by developers. This task is the more costly has more detail the scene is. However, when modeling an actual building from scratch, developers are repeating a task that has been performed by architects and engineers at its design. This duplication, besides unnecessary, sometimes does not have the expected result. The difficulty of developers in obtaining the information needed to create the scenario leads to scenario deviation from the actual design.

At the same time, there has also been an increase of Building Information Modeling (BIM) concept, which is the digital representation of the physical and functional characteristics of a building. Thus, all the information associated with a building is gathered in order to improve information sharing and collaborative work in the building process. The geometric representation of the building, the furniture, the materials used in the building (physical and visual properties) is relevant information for the development of games that is now accessible from the BIM.

This work explores the integration of the concept BIM and simulation games, to take advantage of BIM potential to create scenarios to simulation games, and at the same time improve navigation and interaction of BIM models through game engines. Thus the result of this work is a solution based on a client-server architecture that enables interoperability software. The solution includes the messaging protocol to facilitate the exchange of information between the softwares and it includes the process of creating game scenarios from BIM models.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Rosaldo José Fernandes Rossetti, por me ter incentivado a continuar a acompanhar minha área de formação base, Engenharia Civil, e que me levou a desenvolver um trabalho de dissertação que relaciona a Engenharia Informática e a Engenharia Civil e assim poder contribuir para o desenvolvimento das duas áreas, pelo seu apoio, disponibilidade e orientação neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Miguel Ângelo Dias Azenha, por me transmitir o seu conhecimento sobre o BIM e dar-me a conhecer as enormes potencialidade do BIM, pela seu apoio, frontalidade, disponibilidade e orientação no tema BIM.

Aos investigadores do LIACC, Tiago Azevedo, Elis, João Ulisses, pela ajuda e pelo bom ambiente de trabalho proporcionado ao longo deste trabalho.

Aos meus colegas do MIEIC, Daniel, José, Rodolfo, bem como todos os outros, pela amizade, pela ajuda e pelos serões e fim-de-semana passados a fazer trabalhos de grupo.

Aos meus colegas do curso BIM, Natália, Sofia, Carlos, Ricardo e Joana, pelos bons momentos passados ao longo do curso BIM, pelo empenho no trabalho desenvolvido e que em muito contribuiu para o desenvolvimento das nossas competências no BIM.

Aos meus pais, irmão e irmã, bem como todos os familiares e amigos, por estarem presentes nos bons e maus momentos, pelo apoio, pelas sugestões e ajudarem-me a ultrapassar os momentos mais difíceis.

Vítor Hugo Torres Mineiro

*“I can’t change the direction of the wind,
but I can adjust my sails to always reach my destination”*

Jimmy Dean

Conteúdo

Agradecimentos	v
Abbreviations	xv
1 Introdução	1
1.1 Contexto	2
1.2 Motivação	3
1.3 Objetivos	4
1.4 Estrutura da Dissertação	4
2 Building Information Modelling	7
2.1 O que é BIM?	7
2.2 Usos BIM	9
2.3 Normalização BIM	11
2.4 Interoperabilidade	12
2.5 Níveis de desenvolvimento	13
2.6 Vantagens e limitações	16
3 Jogos de Simulação	17
3.1 Treino e ensino	17
3.2 Evacuação de multidões	20
3.3 Segurança	21
4 Integração de BIM e Jogos de Simulação	23
4.1 Impacto dos jogos de simulação no BIM	23
4.2 Impacto do BIM nos jogos de simulação	25
4.3 Modelação de elementos BIM	26
4.4 Arquitetura e implementação	28
4.5 Dificuldades encontradas e seus tratamentos	32
4.5.1 Modelo IFC	32
4.5.2 Autodesk Revit®	34
4.5.3 Unity 3D	37
4.6 Modelo Conceptual	40
4.7 Procedimento e Protocolo de Comunicação	42
4.7.1 Procedimento	42
4.7.2 Protocolo de mensagens	45

CONTEÚDO

5	Aplicação a caso de estudo	49
5.1	Casos de estudo	49
5.1.1	Caso 1: Revit ("Navigation Wheel")	51
5.1.2	Caso 2: BIMx	52
5.1.3	Caso 3: Revit + 3Ds Max + Stingray	53
5.1.4	Caso 4: Revit + Unity 3D	55
5.2	Análise comparativa dos casos de estudo	56
6	Conclusões e Trabalho Futuro	59
6.1	Principais conclusões	59
6.2	Contributo científico, tecnológico e aplicacional	60
6.3	Trabalho Futuro	61
	Referências	63

Lista de Figuras

1.1	Impacto do BIM nos Edifícios	2
2.1	Propriedades e características de uma parede num projeto de um edifício	8
2.2	Curva de McLeamy[EET ⁺ 11]	9
2.3	Tipos de informação associados a cada dimensão BIM [Ven15]	10
2.4	Linha temporal de implementações BIM[FifRoBD13].	11
2.5	Normas para a interoperabilidade[bIL].	12
2.6	Processo colaborativo: método tradicional (2D) vs método BIM [Ven15]	13
2.7	Nível de definição do modelo BIM[INS13].	15
4.1	Elementos BIM	26
4.2	Constituintes e propriedades das paredes do elemento 1 - Imagens retiradas do Autodesk Revit®	27
4.3	Constituintes e propriedades das paredes do elemento 2 - Imagens retiradas do Autodesk Revit®	28
4.4	Arquitetura de alto nível	29
4.5	Arquitetura de alto nível reduzida - Primeira Fase	30
4.6	Vista geral da solução	31
4.7	Diagrama de arquitetura física	31
4.8	Arquitetura Orientada a Serviços	32
4.9	Modelo BIM importado no Unity 3D usando o formato FBX	34
4.10	Modelo BIM importado no Unity 3D usando o formato FBX	35
4.11	Diferença de um modelo exportado considerando ou não o nível de detalhe gráfico dos elementos	36
4.12	Arquitetura Cliente-Servidor implementada	38
4.13	Diferença de um modelo exportado considerando ou não o dos elementos	39
4.14	Divisão de uma porta nos seus componentes.	39
4.15	Modelo conceptual do servidor	40
4.16	Modelo conceptual do cliente	41
4.17	Diagrama de atividades da solução	43
4.18	Decomposição de uma porta em moldura e painel	44
4.19	Diagrama de sequência de mensagens entre o Revit® e o Unity 3D	48
5.1	Navigation Wheel - Autodesk Revit®	51
5.2	BIMx	53
5.3	Ambiente virtual final	55

LISTA DE FIGURAS

Lista de Tabelas

2.1	Níveis de desenvolvimento apresentados pela BIMForum [lod15]	15
4.1	Obter informação do modelo	45
4.2	Obter informação BIM de um elemento	46
4.3	Obter materiais BIM aplicado num determinado elemento	47
4.4	Parar conexão	47
5.1	Análise comparativa das soluções	57

LISTA DE TABELAS

Abreviaturas e Símbolos

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AIA	American Institute of Architects
API	Application Programming Interface
BIM	Building Information Modeling
BSI	British Standards Institute
CAD	Computer-Aided Design
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IFC	Industry Foundation Classes
IPD	Integrated Project Delivery
ISO	International Organization for Standardization
IT	Tecnologias de Informação
LOD	Níveis de Desenvolvimento
SDK	Software Development Kit
SOAP	Service Oriented Architecture Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
WCF	Windows Communication Foundation
WSDL	Web Service Definition Language

Capítulo 1

Introdução

Nos últimos anos a indústria das Tecnologias de Informação (IT) tem vindo a ter um crescimento bastante elevado a nível mundial. Um dos fatores que tem influenciado este crescimento é a constante integração das tecnologias de informação em novas áreas. Como consequência, a indústria IT é constantemente presenciada com novos paradigmas, novas exigências computacionais e tecnológicas e com maior complexidade. Para tal a indústria IT vê-se forçada a transformar-se e adaptar-se de forma a ultrapassar estes novos desafios.

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) é um exemplo de uma área que tem vindo a integrar cada vez mais na sua indústria a componente de IT. Com o aumento do peso das IT, a indústria AEC procura melhorar os seus processos colaborativos e produtivos. Para tal, tem vindo a desenvolver um conceito designado por Building Information Modeling (BIM). Este conceito consiste em reunir a informação produzida no decorrer do ciclo de vida de um edifício, desde o primeiro esboço até à sua demolição, passando pelas fase de projeto, medição e orçamentação, construção e utilização.

Esta melhoria nos processos colaborativos e produtivos da indústria AEC vem transmitir aos Arquitetos e Engenheiros uma maior confiança nas suas ações. Consequentemente reflete-se numa maior liberdade para aumentar a criatividade e originalidade dos seus projetos. A prova da melhoria destes processos é que cada vez mais frequente vê-se edifícios com formas únicas e complexas que se tornam emblemáticos nas suas regiões ou até mesmo a nível mundial, como por exemplo o Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões (Figura 1.1a) ou o Grand Théâtre de Rabat, em Marrocos (Figura 1.1b).

Por outro lado, a crescente informatização das várias indústrias tem promovido um crescimento exponencial da quantidade de dados e informação produzida. Contudo, a recolha destes dados apenas faz sentido se de alguma forma for possível extrair informação relevante para as

Introdução



(a) Terminal de Cruzeiros de Leixões - Fotografia de Francisco Piqueiro



(b) Grand Théâtre de Rabat - Zaha Hadid Architects

Figura 1.1: Impacto do BIM nos Edifícios

entidades envolvidas no processo construtivo. Neste sentido, existe um conjunto de técnicas e metodologias de recolha e tratamento de dados que podem ser seleccionadas tendo em conta a situação em causa e o tipo de dados que se pretende recolher. Relativamente a dados de comportamentos de pessoas, uma das técnicas e metodologias que tem ganho destaque nos últimos anos, quer na comunidade científica quer na sociedade civil em geral, são os Jogos Sérios. Como o próprio nome indica, trata-se de um jogo, normalmente num contexto sério, e que é desenvolvido com outro fim que não o de entretenimento do jogador. Este tipo de jogos tem habitualmente como fim apoiar o ensino, treino de pessoas ou equipa ou apenas análise comportamental dos jogadores.

1.1 Contexto

A utilização de jogos simulação em exercícios que podem por em risco a vida dos participantes, ou podem produzir custos avultados para as entidades envolvidas, tem sido cada vez mais adotada. Assim consegue-se garantir que a vida das pessoas não está em risco durante os exercícios e ao mesmo tempo é possível controlar os custos dos exercícios.

Um exemplo destas situações é o treino de pilotos de avião onde um erro devido à inexperiência do piloto pode levar a um acidente. Mesmo que o piloto se consiga ejetar do avião a aeronave acaba por se despenhar e elevar drasticamente assim o custo do exercício. Outro exemplo é a simulação de incêndio num edifício com fogo real, em que ao se utilizar fogo real, está-se a colocar em risco a vida dos participantes.

No caso do objetivo principal do jogo ser a análise comportamental do jogador, é esperado que jogador se sinta imerso durante o jogo de forma a agir naturalmente, como se estivesse a vivenciar a experiência. Assim, é expectável que as decisões e comportamentos realizados pelo jogador sejam fidedignos para se obter dados válidos e que estes possam ser posteriormente utilizados no treino de agentes, instâncias de software que representam uma pessoa virtual durante o período de simulação. Um ponto bastante relevante que contribui para a imersão de uma pessoa num jogo é

Introdução

o próprio ambiente do jogo. O reconhecimento do cenário de jogo, o realismo da cena e dos seus objetos são fatores que contribuem para uma melhor caracterização do cenário e por consequência a uma maior capacidade de imersão do jogo.

Assim, ao utilizar modelos de edifício reais com o mesmo mobiliário e os mesmos materiais em jogos de simulação de evacuação de pessoas em edifícios, estamos a contribuir para o aumento da capacidade de imersão do ambiente de jogo. Como consequência será expectável uma maior eficiência da utilização dos jogos de simulação como ferramenta de análise comportamental, ensino ou treino.

Uma das tarefas durante a criação de um jogo, consiste na modelação dos cenários. Normalmente, esta tarefa é realizada por programadores que criam os cenários de raiz, ou utilizam ferramentas de geração automática de cenários. No caso de se pretender replicar um edifício real para um jogo, os programadores realizam um enorme esforço adicional de forma a conseguir aproximar ao máximo o cenário do jogo do edifício real. Por vezes, nestas situações os programadores não possuem informação necessária sobre o edifício para que consigam replicar satisfatoriamente o modelo do edifício. Como resultado, os cenários de jogos apresentam um grau de proximidade do edifício real aquém do que seria esperado.

Contudo, o esforço desenvolvido pelos programadores na modelação do edifício de reais acaba por resultar numa repetição de uma tarefa que foi previamente realizada por arquitetos e engenheiros, uma vez que estes já despenderam o seu tempo e recursos na modelação do edifício real. Se durante a execução do projeto do edifício os arquitetos e engenheiros utilizarem o conceito BIM, o resultado final é um modelo rico em informação bastante relevante para o desenvolvimento de jogos e criação dos cenários. Assim os programadores podem consultar a informação geométrica dos elementos e dos seus materiais de forma a criar cenários mais realistas, quer visualmente quer nos comportamentos dos elementos.

1.2 Motivação

A principal motivação para este trabalho surge da junção das áreas científicas de Engenharia Civil e de Engenharia Informática, áreas que constituem a base da minha formação académica.

A dificuldade em criar cenários de jogos de simulação *indoor* realistas faz com que a integração de áreas como a Arquitetura, Engenharia e Construção seja essencial para a área dos jogos de simulação. No lado da AEC o principal foco na conceção de edifício são os utentes do edifício. Contudo a informação dos utentes apenas surge durante a fase de utilização, o que torna a correção de potenciais problemas de utilização de difícil aplicação. Assim, através do contributo de jogos de simulação é possível promover experiências de utilização do edifício para potenciar a previsão de potenciais problemas de utilização. Ao antecipar a deteção de problema torna a sua resolução

menos custosos. Torna-se assim oportuno a realização de um trabalho que relaciona estas duas áreas no sentido de tirar proveito de matérias com grandes potencialidades em cada uma das áreas.

A realização deste trabalho foi também originada pela necessidade da partilha de informação entre estas áreas. O conceito Open Data e a interoperabilidade entre plataformas tornam-se fundamentais para que seja possível aproveitar as inúmeras potencialidades da união das áreas de Arquitetura, Engenharia, Construção e Informática.

Em resumo, a junção das áreas de AEC e Informática realça a necessidade de homogeneizar a informação destas áreas e padronizar a forma de comunicação entre as diversas plataformas. Esta necessidade promove assim a realização deste trabalho.

1.3 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é explorar a integração entre o BIM e motores de jogos de forma a tornar menos custosa a geração de cenários realistas nos jogos de simulação e ao mesmo tempo criar ambiente virtuais que permitam a exploração e navegação dos potenciais utentes do edifício.

Neste sentido, uma das metas deste trabalho é obter uma solução que permita a troca de informação entre os projetos BIM¹ e motores de jogo de forma a enriquecer os cenários e a interação do jogo e do jogador. Como tal, a criação de protocolos de comunicação entre as plataformas BIM e os motores de jogo torna-se num ponto fundamental a atingir neste trabalho.

De uma forma geral, os objetivos deste trabalho centram-se no refinamento das metodologias de criação de cenários *indoor* em jogos de simulação *indoor* e desenvolver um protocolo que possibilite a comunicação entre os projetos BIM e simuladores. Procurando assim potenciar as abordagens de análise comportamental, através de jogos de simulação, e ao mesmo tempo potenciar a visualização avançada do conceito BIM.

1.4 Estrutura da Dissertação

Para além da introdução, esta dissertação contém mais 4 capítulos. No capítulo 2 é apresentado o conceito BIM. Assim são apresentadas as várias fases do BIM e os seus usos, seguido da caracterização do estado atual da normalização NIM e interoperabilidade entre softwares. É apresentado também o conceito de nível de desenvolvimento dos elementos BIM e a importância da sua padronização. Posteriormente são apresentados as vantagens e limitações do BIM, as diferenças entre o desenvolvimento tradicional e o desenvolvimento segundo BIM e as vantagens e desvantagens. No capítulo 3 são abordados vários trabalhos científicos desenvolvidos no contexto dos jogos de simulação e BIM. Estes trabalhos suportam este trabalho.

¹Entenda-se projetos BIM como projetos de arquitetura e engenharia desenvolvidos segundo o conceito BIM.

Introdução

No capítulo 4 começa por apresentar a arquitetura idealizada para a solução deste trabalho. São indicadas as diversas dificuldades encontradas na implementação da solução e as alternativas aplicadas para contornar essas dificuldades. Posteriormente é descrito o procedimento e o protocolo de comunicação desenvolvido. No capítulo 5 são descritos os casos de estudos realizados para avaliar e comparar a solução desenvolvida neste trabalho e com soluções alternativas atualmente aplicáveis. Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho e perspectivas para trabalhos futuros.

Introdução

Capítulo 2

Building Information Modelling

Neste capítulo pretende-se caracterizar a situação atual do conceito Building Information Modeling (BIM). Desta forma, o capítulo começa por clarificar o que é BIM e apresentar uma breve explicação da sua origem. De seguida destaca os Usos BIM e as principais funcionalidades que os softwares da AEC fornecem aos seus utilizadores ao utilizarem o BIM. Posteriormente este capítulo aborda os temas da normalização BIM. Apresenta algumas normas existentes em diversos países, seguido das normas especificadas para promover a interoperabilidade BIM. No penúltimo ponto deste capítulo é introduzido o conceito nível de desenvolvimento, onde são apresentadas algumas propostas de definição dos vários níveis. Por fim são apresentadas as vantagens e limitações do BIM.

2.1 O que é BIM?

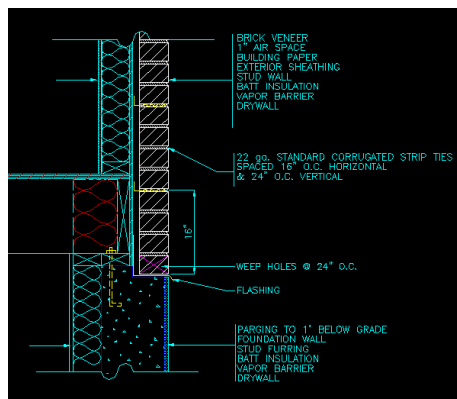
O conceito BIM é definido pela National BIM-Standards – Estados Unidos – como a representação digital das características físicas e funcionais de um edifício e como um recurso para a partilha de conhecimento da informação de um edifício, formando assim um suporte confiável para a tomada de decisões durante o seu ciclo de vida [oBS].

Do ponto de vista da informática, BIM é um sistema de informação aplicado à indústria da AEC onde o modelo de um edifício é representado por um conjunto de entidades de forma a definir e caracterizar todos os elementos do edifício.

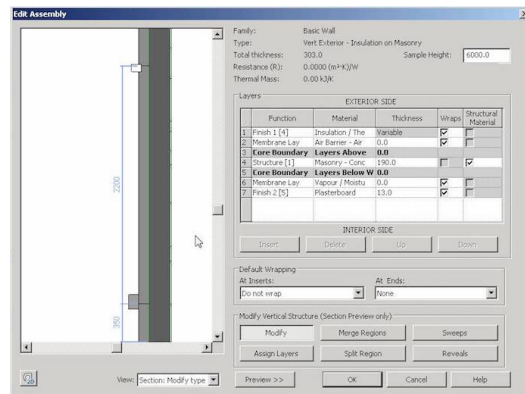
Os elementos do edifícios são vistos como objetos que se relacionam entre si e que contem um conjunto de propriedades sobre as suas dimensões geométricas, posição, materiais, entre outras propriedades que definem o próprio elemento. Os materiais são de igual forma objetos com propriedades sobre a sua aparência, propriedades físicas e térmicas que os permite caracterizar.

No modelo digital tradicional de um edifício, desenvolvido em CAD, a representação de uma parede é feita através de um conjunto de linhas. Essas linhas definem os limites e dimensões da

Building Information Modelling



(a) Modelo digital tradicional (Autodesk AutoCAD)



(b) Modelo digital BIM (Autodesk Revit)

Figura 2.1: Propriedades e características de uma parede num projeto de um edifício

parede. Já a identificação dos materiais é realizada através de legendas no próprio desenho, como é possível visualizar na Figura 2.1a. Embora esta informação referencie uma linha ou área, não está associada ao elemento. Pelo que a associação é interpretada pela pessoa que produz ou lê o modelo.

No modelo digital BIM, uma parede é definida como um objeto, com propriedades parametrizáveis, dimensões, posição, materiais, e outras informações. Por sua vez a sua representação gráfica traduz-se num conjunto de linhas de acordo com a perspectiva de visualização. A figura 2.1b ilustra a estrutura de um objeto do tipo parede juntamente com uma vista de corte da parede. Desta forma a informação passa a estar contida nos próprios elementos e não na pessoa que produz ou lê o modelo. Por fim, o próprio modelo do edifício é também um objeto que para além de conter os elementos do edifício, possui um conjunto de informação relativo à sua informação geográfica e que complementa a caracterização do edifício.

Projeto integrado

O processo de conceção de um edifício envolve diversos intervenientes. O modelo digital tradicional utilizado, CAD, potencia a ocorrência de ambiguidade uma vez que a informação é colocada no modelo pelos projetistas. Pelo que, para os restantes intervenientes a informação introduzida pelos projetistas pode não ser clara o suficiente ou pode ter diferentes interpretações. Como resultado, problemas devido a má interpretações ou inconsistências de projeto tendem a surgir em fases mais avançadas da conceção do edifício.

Patrick MacLeamy, apresentou um estudo onde revela o impacto do esforço/custo gasto na resolução de problemas ao longo das várias fases do ciclo de vida do edifício. Assim conforme ilustra a figura 2.2, a resolução de um problema terá maior custo/esforço quanto mais tarde for detetado.

Building Information Modelling

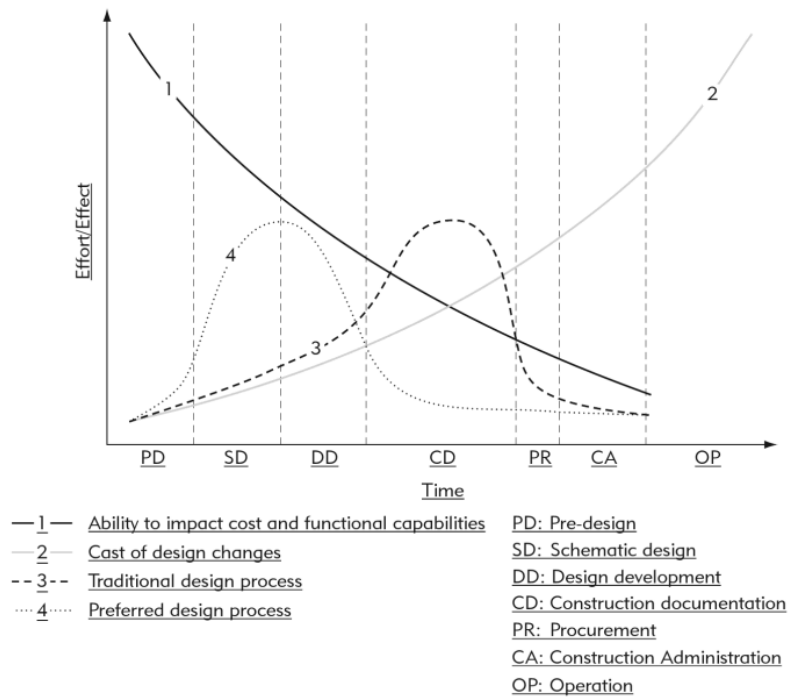


Figura 2.2: Curva de McLeamy[EET+11]

No sentido de melhorar o processo de desenvolvimento de projeto mais colaborativo e reduzir problemas de inconsistências ou interpretações incorretas do modelo surge o conceito entrega de projeto integrado ou IPD (*Integrated Project Delivery*).

O IPD baseia-se na partilha de conhecimento e competências entre os principais intervenientes em prol do benefício mútuo. Desta forma a utilização do BIM como veículo de projetos integrados contribui para a melhoria da eficácia no trabalho de equipa dos interveniente [BP11].

Contudo, para alcançar o sucesso deste conceito é necessário que a equipa esteja organizada e os seus elementos transmitam confiança e transparência, que tenham o compromisso da partilha de prejuízo e lucro.

2.2 Usos BIM

O conceito BIM abrange as diversas fases de conceção do edifício. Assim, à medida que o modelo avança nas fases de conceção, vai ficando cada vez mais rico em informação.

Desta forma, os softwares BIM disponibilizam aos seus utilizadores um conjunto de ferramentas que lhes permite utilizar tirar maior proveito do BIM para atingir diversos objetivos, também designado Usos BIM. Dentro destes usos enquadram-se atividades como estimativa de custos, planeamento de fases, coordenação, análise estrutural e energética do edifício e muitas outras atividades realizadas ao longo do ciclo de vida do edifício.



Figura 2.3: Tipos de informação associados a cada dimensão BIM [Ven15]

Em software de modelação, como o Autodesk Revit® e o ArchiCAD, destacam-se as funcionalidades da visualização avançada. Execução de peças de desenho automáticas, visualização 3D do modelo são as características que mais se realçam.

Contudo para atividades de coordenação o modelo torna-se um pouco pesado, pelo que existem softwares como o Solibri® e o Tekla BIMsight® que simplificam o modelo tornando-o mais leve. Contudo esta simplificação descaracteriza a aparência dos elementos e como tal o seu uso não é eficaz para visualizar o modelo utilizando as aparências reais do modelo.

No caso da visualização avançada do modelo os softwares dispõem de funcionalidades como a visualização tridimensional do edifício e navegação pelo edifício. Embora a navegação seja simples e sem possibilidade de interagir com o modelo, apenas consultar informação sobre o elemento selecionado.

Diversos autores [Ven15] dividem a informação do modelo em dimensões BIM ilustradas na figura 2.3.

A primeira dimensão, designada por **BIM 3D**, agrupa a informação tridimensional dos modelo. Nesta dimensão são englobados os projetos das diversas especialidades, a informação sobre os espaços e materiais aplicados nos elementos do edifício e os equipamentos instalados no edifício.

As informações associada ao tempo, como o planeamento de obra ou simulação energética do edifício, integras a dimensão **BIM 4D**.

A dimensão seguinte, **BIM 5D**, relaciona os custos de construção do edifício com base nas estimativas de preços dos materiais aplicados e trabalhos associados. Uma vez que o edifício ainda se encontra em construções é possível estudar alternativas de forma a tornar a construção do edifício mais económica.

Building Information Modelling

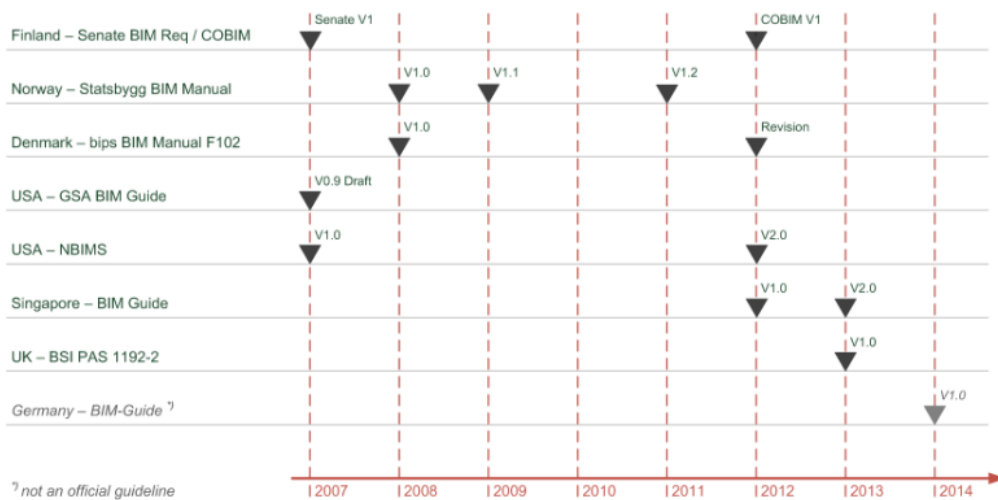


Figura 2.4: Linha temporal de implementações BIM[FifRoBD13].

A informação associada ao ambiente e à sustentabilidade do edifício enquadra-se na sexta dimensão, **BIM 6D**, embora hajam autores que argumentem que a sustentabilidade deve ser transversal a todos os níveis. Esta dimensão engloba várias análises ao edifício, como por exemplo o consumo de energia, emissões associadas e certificação de edifícios verdes.

Por fim temos a sétima dimensão, **BIM 7D**, onde é integrada a informação referente à gestão e manutenção do edifício.

2.3 Normalização BIM

Diversos países têm estabelecido planos estratégicos para a implementação do BIM na indústria AEC. Para tal, tem desenvolvido guias e regulamentos internos para clarificar o conceito e definir as melhores práticas para a implementação e o uso do BIM. A figura 2.4 apresenta a linha temporal do desenvolvimento dos guias e normas BIM em países que já implementaram ou estão na fase de implementação do plano estratégica definido.

É possível verificar a Finlândia, juntamente com os Estados Unidos da América, foi dos primeiro países a definir um conjunto de requisitos a para a implementação BIM e que deu origem ao Common BIM Requirements 2012 [pro14]. A Noruega procura manter uma periodicidade de revisão do Statsbygg BIM Manual 1.2.1 [Sta13] inferior ao restantes países. Os Estados Unidos da América, por sua vez possui um conjunto de documentos que, juntamente com o National BIM Standard -United States-[ba15], têm servido de base para o desenvolvimentos dos guias na maior parte dos países que estão tesse momento a implementar o BIM na sua industria AEC. O Reino Unido, apesar de ter lançado a primeira versão da norma Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling [INS13] apenas em 2013, definiu o ano 2016 como o ano a partir do qual as obras pública

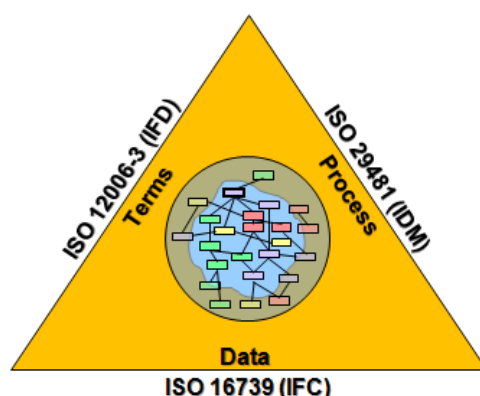


Figura 2.5: Normas para a interoperabilidade[[bIL](#)].

devem ser desenvolvidas em BIM. Singapura apresenta também um crescimento enorme no BIM, sendo que num espaço de um ano publicou uma nova versão do Singapore BIM Guide [[Wor13](#)]. Com o uso do BIM foi possível implementar práticas de licenciamento automático e validação de regulamentos.

Para além destes países, outros estão também em fase de implementação. O Brasil, com o apoio da Associação Brasileira de Escritório de Arquitetura desenvolveu o GUIAAsBEA Boas Práticas em BIM [[AsB13](#)] para ajudar os profissionais de arquitetura a implementar o BIM nos seus escritórios. A Espanha tem como meta o uso obrigatório do BIM a partir do ano 2017, tendo para isso criado o Guia do Usuário BIM [[Cha14](#)].

2.4 Interoperabilidade

A diversidade de atores e softwares levou à criação de um consórcio para criar um conjunto de classes de forma a apoiar desenvolvimento integrado de aplicações. O consórcio foi inicialmente designado de “Industry Alliance for Interoperability” e mais tarde o nome alterou para "buildingSMART". Deste consórcio saíram três normas ISO para uniformizar a interoperabilidade dos softwares - figura 2.5.

A norma ISO 16739:2013 ¹ para a especificação dos dados para a troca de informação necessária entre as diversas fases do ciclo de vida dos edifícios e as diversas disciplinas envolvidas e seus intervenientes.

A norma ISO 29481 ² para a especificação de processos de transferência de informação e forma como a informação é especificada. Desta forma pretende facilitar a interoperabilidade entre aplicações de software BIM.

¹ISO 16739:2013 “Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries”

²ISO 16739 “Building information models – Information delivery manual”

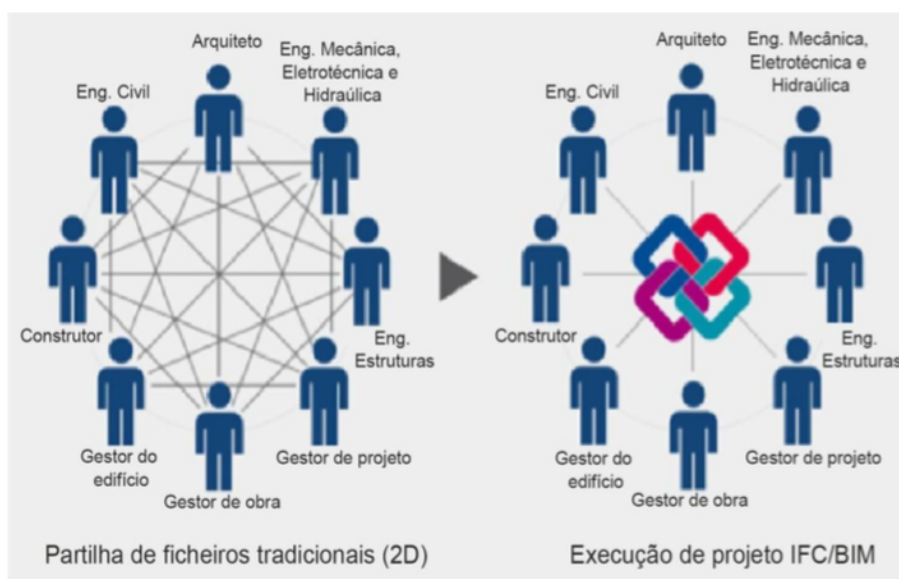


Figura 2.6: Processo colaborativo: método tradicional (2D) vs método BIM [Ven15]

E por fim a norma ISO 12006-3:2007 ³ para a especificação da terminologia de forma a evitar ambiguidades e incompatibilidades de designação em todo o processo de interoperabilidade.

A Figura 2.6 ilustra a alteração do processo de comunicação e partilha de ficheiros esperada com a introdução das normas ISO referidas.

No entanto, apesar da certificação da interoperabilidade dos softwares existe ainda alguma perda de informação na troca de informação entre ferramentas diferentes.

2.5 Níveis de desenvolvimento

O processo natural de desenho de um edifício é um processo evolutivo em que o autor do projeto parte de uma vaga ideia concetual até chegar a uma descrição detalhada do edifício e dos seus elementos. Assim, à medida que o projeto avança, a informação de um determinado elemento vai sofrendo alterações, causando, problemas quanto à certeza e à fiabilidade dos conteúdos do elemento por parte dos restantes intervenientes.

A American Institute of Architects (AIA), para clarificar a informação de um elemento pode ser considerada válida num determinado momento, em 2008, publicou no documento E202TM-2008⁴ o primeiro conjunto de definições de níveis de desenvolvimento (LOD). Posteriormente,

³ISO 12006-3:2007 “Building construction – Organization of information about construction works – Part 3: Framework for object-oriented information”

⁴E202TM-2008: Building Information Modeling Protocol

com a crescente adoção do BIM e as necessidades que foram surgindo, este documento foi sofrendo atualizações dando origem à versão G202TM-2013⁵. Nesta última versão, o documento define os níveis de desenvolvimento dos elementos e indica o tipo de informação que um elemento deve conter para atingir cada nível e as atividades para as quais o elemento pode ser considerado válido ou pronto. Assim, segundo os LOD's apresentados pela AIA, o projetista sabe à partida que tipo de informação deverá incluir no elemento para que determinada atividade seja realizada. Por exemplo, para as atividades de planeamento e coordenação os elementos devem apresentar no mínimo o LOD 200, ou seja, o elemento deverá conter informação gráfica, como um sistema genérico, quantidades aproximadas, tamanhos, forma, localização e orientação. Uma vez o elemento apresentando esta informação considera-se que tem um LOD 200 e pode ser utilizado para as atividade de planeamento e coordenação.

A British Standards Institution (BSI), vai um pouco mais longe. Apresenta o documento PAS 1192-2⁶ onde faz a distinção dos níveis de detalhe e informação do modelo de acordo com as várias fases do ciclo de vida do edifício (*Brief, Concept, Definition, Design, Build and Commission, Handover and Closeout and Operation*). Para cada uma das fase de construção, o PAS 1192-2 detalhada que sistemas estão abrangidos em cada uma das fase e especifica o detalhe que a ilustração gráfica e que tipo de informação e pormenor os elementos do modelo devem conter. A figura 2.7 ilustra parte da especificação definida pela BSI. Como é possível verificar, para cada fase é especificado o nível de detalhe gráfico e de informação que é considerável fiável.

Já a BIMForum, entidade que procura facilitar e promover o uso do BIM, apresenta a sua interpretação dos níveis de desenvolvimento da AIA. Contudo, para além de tentar clarificar um pouco mais a especificações LOD da AIA, a BIMForum acrescenta um nível de desenvolvimento designado LOD 350 onde é dado especial ênfase à informação não gráfica a incluir no elemento e que é essencial para as atividade de coordenação e montagem.

A tabela 2.1 apresenta os níveis de desenvolvimento e a respetiva especificação e interpretação publicados no documento de especificação dos níveis de detalhe da BIMForum [lod15].

O desenvolvimento e publicação das especificações referidas veio trazer um maior entendimento entre os vários intervenientes no processo construtivo de um edifício e ao mesmo veio também contribui para o uso do BIM como uma ferramenta de comunicação. Neste sentido, os vários intervenientes devem estabelecer os níveis de desenvolvimento dos elementos para executar determinadas atividades ou para iniciar uma nova fase do processo construtivo do edifício.

⁵G202TM-2013: Project Building Information Modeling Protocol Form

⁶Public Available Specification 1192-2:2013: Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling

Building Information Modelling







Stage number	1	2	3	4	5	6	7
Model name	Brief	Concept	Definition	Design	Build and commission	Handover and closeout	Operation
Systems to be covered	N/A	All	All	All	All	All	All
Graphical illustration (building project)							
Graphical illustration (infrastructure project)							
What the model can be relied upon for	Model information communicating the brief, performance requirements, performance benchmarks and site constraints	Models which communicate the initial response to the brief, aesthetic intent and outline performance requirements. The model can be used for early design development, analysis and co-ordination. Model content is not fixed and may be subject to further design development. The model can be used for co-ordination, sequencing and estimating purposes	A dimensionally correct and co-ordinated model which communicates the response to the brief, aesthetic intent and some performance information that can be used for analysis, design development and early contractor engagement. The model can be used for co-ordination, sequencing and estimating purposes including the agreement of a first stage target price	A dimensionally correct and co-ordinated model that can be used to verify compliance with regulatory requirements. The model can be used as the start point for the incorporation of specialist contractor design models and can include information that can be used for fabrication, co-ordination, sequencing and estimating purposes, including the agreement of a target price/guaranteed maximum price	An accurate model of the asset before and during construction incorporating co-ordinated specialist sub-contract design models and associated model attributes. The model can be used for sequencing of installation and capture of as-installed information	An accurate record of the asset as a constructed at handover, including all information required for operation and maintenance	An updated record of the asset at a fixed point in time incorporating any major changes made since handover, including performance and condition data and all information required for operation and maintenance The full content will be available in the yet to be published PAS 1192-3

Figura 2.7: Nível de definição do modelo BIM[INS13].

Tabela 2.1: Níveis de desenvolvimento apresentados pela BIMForum [lod15]

LOD	Specification
LOD 100	BIMForum Interpretation: LOD 100 elements are not geometric representations. Examples are information attached to other model elements or symbols showing the existence of a component but not its shape, size, or precise location. Any information derived from LOD 100 elements must be considered approximate.
LOD 200	BIMForum interpretation: At this LOD elements are generic placeholders. They may be recognizable as the components they represent, or they may be volumes for space reservation. Any information derived from LOD 200 elements must be considered approximate.
LOD 300	BIMForum interpretation: The quantity, size, shape, location, and orientation of the element as designed can be measured directly from the model without referring to non-modeled information such as notes or dimension call-outs.
LOD 350	BIMForum Interpretation: Parts necessary for coordination of the element with nearby or attached elements are modeled. These parts will include such items as supports and connections. The quantity, size, shape, location, and orientation of the element as designed can be measured directly from the model without referring to non-modeled information such as notes or dimension call-outs.
LOD 400	BIMForum Interpretation: An LOD 400 element is modeled at sufficient detail and accuracy for fabrication of the represented component. The quantity, size, shape, location, and orientation of the element as designed can be measured directly from the model without referring to non-modeled information such as notes or dimension call-outs.
LOD 500	The Model Element is a field verified representation in terms of size, shape, location, quantity, and orientation. Non-graphic information may also be attached to the Model Elements.

2.6 Vantagens e limitações

O conceito BIM apresenta diversas alterações nos processos produtivos e colaborativos da AEC que se traduzem em várias vantagens e melhoria da eficiência dos processos [Ven15]. Destacam-se algumas das principais vantagens que maior impacto causam neste trabalho:

- Representação tridimensional do modelo;
- Parametrização dos elementos;
- Centralização da informação do modelo, facilitando o seu acesso e análise;
- Simulação e análise do modelo, permitindo o estudo de várias alternativas do modelo;
- Atualização do modelo ao longo do ciclo de vida do edifício.

Contudo, neste momento o BIM possui algumas limitações que ainda se encontram por ultrapassar. A interoperabilidade, por exemplo, ainda não está totalmente implementada pelas casas de software. A estrutura de dados adotada é bastante complexa e por vezes alguns dos parâmetros são omitidos na sua exportação, embora tenha vindo a melhorar.

Capítulo 3

Jogos de Simulação

O conceito de jogos de simulação pode ser visto como os jogos desenvolvidos para simular aspectos da vida real ou de uma realidade fictícia. Esta visão apresenta um âmbito aplicacional bastante amplo e que ultrapassa o contexto deste trabalho. Assim o âmbito dos jogos de simulação aplicável a este trabalho consiste no jogos de simulação que são desenvolvidos para simular aspectos da vida real e que se enquadram no contexto de Jogos Sérios.

Em 1970, Clark C. Abt [Cla70] introduz o conceito jogos sérios com um simples definição que ainda é utilizada no dias de hoje e que resume os jogos sérios como sendo os jogos que são desenvolvidos em que o principal objetivo não é o entretenimento. Assim a grande diferença entre vídeo jogos e jogos sérios é fim a que destina. Jogos sérios tem como principal objetivo o treino e formação enquanto que os outros tem como objetivo principal o entretenimento do utilizador. No entanto, apesar da diferença do objetivo fundamental do jogo, os vídeos jogos normalmente contem também uma componente de aprendizagem, pelo menos numa fase inicial do jogo. Assim o jogador executa um determinado conjunto de ações de passa/ não passa que se assemelha ao método de ensino tradicional [MC05]. Por exemplo, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos para a análise do comportamento dos motoristas e da ergonomia dos sistemas de informação nos veículos [GROM12, AGR⁺13].

Neste capítulo é caracterizado o estado da arte atual referente a este tema. Assim são apresentados os trabalhos científicos com relevância para o tema deste trabalho. Estes trabalhos servem de base para a identificação do problema do trabalho e conseqüente proposta de solução.

3.1 Treino e ensino

Nos últimos anos diversos autores tem apresentado o uso de vídeo jogos como uma ferramenta útil para o treino de atividade que envolvam algum risco e ensino de determinadas matérias.

Jogos de Simulação

João Ribeiro usa os exercício de simulação de emergência realizados em edifício públicos como objeto de estudo [RAR⁺12a], onde realça a dificuldade das pessoas muitas vezes não levarem estes exercícios a sério. Com isso, os resultados dos exercícios correm o risco de ocultarem possíveis falhas que visto não terem sido detetadas durante o exercício controlado podem surgir numa situação real e assim pôr em risco a vida dos utilizadores do edifício.

Como alternativa, apresenta o uso de sistemas de simulação virtual como fonte de informação útil para os exercícios de evacuação de emergência. Neste sentido explora o conceito de jogos sérios na tentativa de corrigir as situações referidas [CCRA11]. Para tal, apresenta um simulador de evacuação de emergência, desenvolvido no âmbito do seu estudo, como ferramenta valiosa para o apoio e melhoria dos exercícios reais, dado que os jogos podem ser bastante atrativos e educativos [RAR⁺12a].

João Ribeiro [KM04] realça um conjunto de características apontadas por Sara Feitas [DF06] e que estão presentes no vídeo jogos que os tornam um recurso útil no ensino e treino de pessoas e equipas. Características como uma maior motivação das pessoas que estão a aprender, taxas de conclusão superiores, possibilidade de aceitar novos alunos ou formandos, criação de atividade colaborativas e a aprendizagem e o ganho de experiência fazendo são algumas características realçadas. No entanto existem ainda outros aspetos, como situações desafiantes, a capacidade de manter o jogador curioso sobre o que pode surgir a seguir, que reforçam o uso de jogos para promover o treino e o ensino.

Christian Loh et al. propõe o uso de uma framework conhecida como "Information Trails" que utiliza as ações do jogadores durante o jogo como base para avaliar a sua aprendizagem [LABL07]. Assim, Christian et al. sugere que um jogo possa ser utilizado para recolha do jogadores no sentido de obter análise quantitativa e racional das ações do jogador.

João Emílio [ARC15] aponta também um conjunto de problemas relacionados com riscos de incêndios em edifícios que por sua vez agravam o perigo de vida dos utentes dos edifícios. De entre dos problemas de falta de sistemas de deteção e combate a incêndios é destacado o comportamento de risco decorrentes da falta de formação e informação dos utentes do edifício. Assim, no Laboratório de Inteligência Artificial e Ciências da Computação (LIACC) está em desenvolvimento um protótipo, designado EVA, para o treino e formação de pessoas através da criação de ambientes virtuais [SAP⁺13, SARC13]. No entanto, o protótipo vai um pouco mais longe permite a aplicação de técnicas de simulação social para o estudo de comportamento humano em situações de emergência. Assim, com a combinação destes dois conceito, João Emílio prevê a gerar melhores planos e estratégias de emergências.

Alguns dos modelos de simuladores de evacuação [KPH05] são de acesso gratuito ao público em geral pelo torna viável o uso desses simuladores em projetos como o EVA. No entanto existe também um conjunto de simuladores que foram desenvolvido em ambiente académico e por consequência não possuem suporte na utilização e por vezes não estão acessíveis. Outros foram

desenvolvidos para uso comercial e como tal apresentam custos utilização elevados. Desta forma, os especialistas das empresas proprietárias destes simuladores acabam por ser principais utilizadores dos simuladores. [KGD09].

João Emílio em [Coe13] apresenta um estudo, realizado no âmbito do desenvolvimento do protótipo EVA, onde explora o conceito de jogos sérios um meio de ajudar e melhorar os exercícios de evacuação de edifícios em caso de incêndio. Este estudo demonstrou que para além de uma ferramenta de treino os jogos sérios podem ser utilizados como instrumento importante na eliciação de comportamentos, no desenvolvimento experiências sociais e na simulação de situações de difícil controlo na vida real.

João Ulisses et al. [UAR15] desenvolveram uma *framework* que combina jogos sérios, sistemas multi-agente e simulação de incêndios treinar bombeiros para cenários de emergência e simular diversas estratégias de combate. O jogo possui personagens que estão em perigo e a equipa de bombeiros que podem ser todos agentes ou um deles ser controlado pelo jogador. Cada agente tem os seus objetivos e estratégias de aprendizagem. Desta forma os agentes vão aprendendo a estratégia do bombeiro com melhores resultados. Ao introduzir a possibilidade do utilizador controlar um bombeiro está-se a contribuir para que os agentes aprendam a estratégia de um humano. Contudo os cenários do jogo são gerados dinamicamente originando cenários aleatório com pouca aproximação a ambientes reais.

Wei Yan [YCG11] destaca algumas vantagens que o BIM traz para os vídeo jogos. Informação geométrica 3D dos edifício para criar níveis e mapas, modelação orientada a objetos, modelação paramétrica dos elementos são algumas dessas vantagens. Assim, Wei Yan apresenta um sistema "BIM-Game" para a criação de ambientes virtuais e que recorre a informação BIM do modelo para criar o sistema de navegação. Desta forma, o sistema prevê a simulação e teste das acessibilidades, circulação, evacuação de emergência e outros casos práticos. O sistema ainda se encontra em desenvolvimento pelo que não estão implementadas interações entre o utilizador e o cenário, como por exemplo a abertura e fecho de portas. O facto de a interoperabilidade nem sempre funcionar como esperado devido a incompatibilidades nas conversões dos formatos originais dos softwares de modelação BIM de elementos curvos para algumas aplicações IFC [Lip09, LR03], levou a que o formato utilizado por Wei Yan fosse o formato FBX.

Gareth Edwards et al. [Wan15] destaca a escassez de ferramentas que permitem o cliente final do edifício visualizar e explorar o modelo de forma a que possa interagir de forma eficaz com a equipa projetista. Desta forma, Gareth Edwards et al. propõe a utilização do motores de jogo no sentido de aproveitar os controlos intuitivos, os ambiente 3D imersivos e ao mesmo tempo a capacidade multi-jogadores para permitir que várias utilizadores possam explorar o mesmo edifício ao mesmo tempo. Assim, desenvolveu um *framework* que através da conexão entre o Autodesk Revit® e BIM permite importar para o jogo o modelo BIM. Desta forma o cliente consegue visua-

lizar o modelo 3D do edifício e conseqüente interagir com os projetistas de forma mais eficaz. No entanto, a *framework* não implementa possíveis interações entre o utilizador e o modelo, servindo apenas para visualizar e explorar o edifício. Contudo, as atualizações anuais do Autodesk Revit® fizeram com que o respetivo API fosse também atualizada, pelo que parte da abordagem seguida pelo Gareth Edwards deixou de ser aplicável.

3.2 Evacuação de multidões

Nos últimos anos a modelação do comportamento de multidões tem tido um papel cada vez mais importante quer para a indústria de vídeo jogos quer para a simulação de emergências. A análise do comportamento da multidão em espetáculos de entretenimento ou em situações mais sérias, como situações de pânico, são fundamentais para que se poder avaliar os espaços numa fase prévia à sua construção. Neste sentido, diversos estudos tem vindo a desenvolver modelos de comportamento de multidões. No entanto, a análise do comportamento em situações de pânico são difíceis de se realizar uma vez que colocam a vida das pessoas em risco. Os exercícios de simulação ou simulacros apresentam também comportamentos dispares dos comportamentos reais uma vez que as pessoas tendem a não levar os exercícios de simulação a sério [ARC11, RAR⁺12b]. Para essas situações, investigadores de ciências sociais têm desenvolvidos modelos computadorizados que são suportados por estudos empíricos de situações de pânico.

O comportamento das multidões em situações normais tem também sido estudado nas ultimas décadas [HFMV02, HMFB01]. Estes estudos baseiam-se na observação direta, fotografia e filmes *time-lapse*. Estas observações são úteis para efeitos de validação de modelos de simulação social. Neste contexto, jogos de simulação poderão ser um instrumento importante para a validação e sintetização de comportamentos sociais [RAKG13].

Sixuan Wang et al. [Woo12] apresenta um sistema de simulação interativo integrando o BIM, através do software Autodesk Revit®, e modelos DEVS (*Discrete Event systems Specification*). Sixuan pretende extrair automaticamente do modelo BIM a informação necessária do edifício para ser utilizada no simulador. No entanto, a extração da informação necessária do modelo do edifício para a simulação obriga a que sejam utilizados dois softwares, Autodesk Revit® e o 3ds Max. Com este sistema é possível perceber os pontos de estrangulamento e congestionamento do projeto 3D do edifício e assim determinar a capacidade máxima para um evacuação de emergência dentro de satisfatórios. Contudo o método Cell-DEVS é baseado num modelo de movimento por células, ou seja, as plantas do edifício são divididas em células quadrangulares, de tamanho igual. Assim uma pessoa apenas se pode deslocar na vertical ou na horizontal caso o espaço de destino esteja vazio. Ora este método de movimento das pessoas difere do movimento natural das pessoas. Neste sentido, o uso de jogos de simulação, através do uso de agentes, pode contribuir para a análise de pontos de estrangulamento e congestionamento.

Nos dias de hoje muito dos problemas de segurança e conforto dos utilizadores dos edifícios podem ser identificados através de simulações. Neste sentido, Hermann Mayer et al. [MKF⁺14], apresenta uma extensão ao padronizado IFC para reunir os dados de entrada necessários para a realização destas simulações. Assim, a metodologia proposta estabelece uma integração direta do BIM e o simulador desenhado. Cada ocupante age de forma individual e independente pelo que se torna difícil antecipar o pior caso possível. Contudo os algoritmos de simulação tem em consideração aspetos fisiológicos como a velocidade do ocupante e a interações uniformes. Aspetos psicológicos como o stress ou o comportamento anormal do ocupante não são tidos em consideração nas simulações.

3.3 Segurança

O crescente estado de insegurança vivido nos últimos tempos por diversos países, tem levado à prevenção contra a ocorrência de desastre e acontecimento de máximo risco, como o caso do incêndio do aeroporto de Istambul em Maio de 2006 ou os atentados terroristas no metro de Londres a 7 de Julho de 2005. Para tal, Uwe Rüppel [Stu08] apresenta um projeto de investigação para desenvolver uma solução resposta e recuperação para ajudar as equipas de salvamento em encontrar o caminho mais curto em edifícios públicos e disponibilizar-lhes informação importante. A solução consiste em recorrer à informação BIM para mostrar as plantas do edifício em dispositivos móveis e gerar os percursos a seguir pela equipa de salvamento.

Uma das formas de aumentar a segurança dos edifícios passa pela avaliação do comportamento do edifício em determinadas situações. Para tal, torna-se essencial antecipar o máximo possível as avaliações de segurança do edifício para a fase de projeto do edifício. Neste sentido o uso de simulações na fase de projeto torna-se fundamental, pois através de várias simulações é possível avaliar o comportamento do edifício perante várias situações. Caso os resultados das simulações não sejam satisfatórios é possível efetuar melhorias ao projeto com custos muito inferiores do que se o edifício já estivesse construído. Desta forma, Uwe Rüppel [RA09], propõe o desenvolvimento de uma plataforma que combine o BIM e diferentes simuladores. Através da integração de simuladores de fogo e fumo, simuladores de evacuações e o BIM, é esperado que a plataforma obtenha um ambiente imersivo com resultados mais realistas. Desta forma, Rüppel procura realizar avaliações mais assertivas do modelo BIM e ter uma visualização única de várias simulações.

Uwe Rüppel [RS11] apresenta uma abordagem para o desenvolvimento de um jogo sério baseado em modelos BIM para estudar o impacto que a condição do edifício transmite aos humanos durante o processo de evacuação.

Jogos de Simulação

Capítulo 4

Integração de BIM e Jogos de Simulação

Este capítulo começa por mostrar o impacto que os jogos de simulação podem ter ao integrarem o BIM e qual o impacto que o BIM traz para os jogos de simulação quando utilizado no desenvolvimento do jogo. Posteriormente, realça-se a importância da padronização da modelação BIM na troca de informação e entendimento entre os diversos intervenientes. Depois apresenta-se a arquitetura da solução idealizada para permitir a troca de informação entre sistemas BIM e motores de jogos. Assim procura-se aumentar as potencialidades de ambos os sistemas e ao mesmo tempo colmatar limitações em cada um. Por fim, apresentam-se as principais dificuldades encontradas no desenvolvimento deste trabalho e as soluções implementadas para ultrapassar essas dificuldades.

4.1 Impacto dos jogos de simulação no BIM

O BIM introduz várias alterações nos processos tradicionais da indústria AEC. O modelo do edifício transforma-se num repositório de informação e no veículo de troca de dados. Para se adaptar a estas alterações as casas de software tem desenvolvido ferramentas para que os seus utilizadores tirem proveito das potencialidades do BIM. O desenho de um elemento como um objeto paramétrico com dados sobre o elemento, substitui o conjunto de linhas que representam o elemento. A visualização tridimensional dos elementos permite obter uma melhor interpretação do modelo e coordenação das várias especialidades do modelo.

As atividades de modelação e coordenação do modelo são geralmente realizadas por profissionais da AEC que estão habituados a trabalhar com os softwares e têm maior facilidade de visualização e manipulação do modelo. Contudo, a entidade responsável pelo edifício e que contrata profissionais da AEC para executarem o projeto do edifício não tem de ser necessariamente

um profissional da AEC. O mais habitual é os responsáveis serem profissionais de áreas completamente diferentes da AEC, sem conhecimento e sem prática nos softwares comuns de modelação e coordenação de modelos BIM. Por isso terão maior dificuldade em manipular o modelo e em visualizar o resultado final do edifício de forma a tomar as decisões mais assertivas.

Por sua vez, os jogos de simulação tem uma preocupação acrescida na usabilidade do jogo. Os jogos de simulação procuram que as ações a executar pelo jogador sejam facilmente interpretadas, sem que obrigue algum conhecimento específico. No caso em que, por características específicas do jogo, é necessário que o jogador tenha algum conhecimento geralmente são criados níveis introdutórios ou tutoriais para que o jogador adquira esse conhecimento. Outro ponto essencial no desenvolvimento de jogos é a movimentação e manipulação da personagem do jogador. A necessidade de que o jogador se foque nas ações que tem de executar e que o controle da personagem não se torne um obstáculo aumenta a jogabilidade do jogo. O uso de física que os motores de jogo possuem, permite introduzir comportamentos e interações entre objetos de jogo. A gravidade, as colisões entre objetos em movimento, o arrastar ou mover um objeto de um sítio para outro, abrir e fechar portas, são exemplos de comportamentos introduzidos nos jogos e que melhora a experiência de navegação e interação do jogador com o cenário.

Assim a integração de uma navegação e exploração simples e mais intuitiva, promovida pelos jogos de simulação, permite melhorar a análise e avaliação do modelo por utilizadores que possuem papéis fundamentais no processo de conceção do edifício mas que não têm qualquer conhecimento ou experiência na utilização de softwares BIM. Se vírmos o exemplo de um hospital, os médicos, enfermeiros e outros profissionais envolvidos no seu funcionamento, são atores importantes para a fase de conceção do projeto. A experiência e conhecimento que médicos e enfermeiros tem sobre o funcionamento do hospital complementa o conhecimento técnico dos profissionais AEC e vice-versa. Desta forma não será de esperar que médicos e enfermeiros tenham conhecimentos sobre o processo construtivo de um edifício ou experiência em softwares BIM, nem que arquitetos e engenheiros tenham conhecimentos sobre o funcionamento de um hospital. O recurso a um jogo de simulação de simples navegação, só por si, permite que os utilizadores tenham uma maior facilidade de visualização e interpretação do modelo. Assim, médicos e enfermeiros podem detetar mais facilmente potenciais problemas de utilização ou indicar melhorias no modelo para alcançar melhor desempenho no seu funcionamento.

Por outro lado a generalidade dos utilizadores dos edifícios apenas tem contacto com o edifício após a conclusão do mesmo, principalmente em edifícios públicos. Apenas nessa altura será possível recolher e analisar dados relacionados com os utentes. Informações sobre como as pessoas circulam no edifício, o impacto que a disposição das áreas do edifício tem sobre os utilizadores, a clareza das placas de orientação dentro dos edifícios e o conforto visual do edifício são exemplos de dados que poderão ser analisados após fase de construção do edifício. Qualquer má experiência ou desconforto para o utilizador, ou um funcionamento deficitário do edifício devido à incorreta organização de espaços, são possíveis problemas que apenas são detetados durante a fase de utilização do edifício.

Ao criar jogos de simulação que envolvam o edifício é possível recolher e analisar dados sobre a utilização do edifício. Jogos onde os potenciais utentes do edifício navegam pelo edifício com o objetivo de melhorar a sua utilização e conforto e jogos onde os utilizadores simulam as suas atividades habituais no edifício, de forma a contribuir para um melhor funcionamento do edifício, são exemplos de jogos de simulação que apenas necessitam do modelo digital do edifício e por isso podem ser desenvolvidos e integrados na fase de conceção de projeto. Com estes jogos podem ser detetados potenciais problemas de utilização ou desconfortos para os utilizadores e que sendo este detetados e resolvidos na fase de projeto resultam em menores custos de resolução e menores transtornos para os utilizadores.

A equipa projetista e o dono-de-obra passam a ter dados de utilização do edifício antes de este estar terminado e assim permite-lhes tomar decisões mais assertivas e reduzir custos de resolução desses mesmo problemas.

4.2 Impacto do BIM nos jogos de simulação

Um jogo de simulação é um jogo desenhado para simular aspetos da vida real. No sentido dos utilizadores e envolverem melhor nas ações que devem realizar durante o jogo é essencial que o jogador se sinta imerso no jogo. O reconhecimento do cenário e o facto do jogador se rever no cenário de jogo são fatores que influenciam o nível de imersão do jogador [WHB⁺07].

A modelação do cenário de jogo é um processo que requer elevados custos e esforços dada a necessidade de desenvolver uma enorme quantidade de conteúdos com grande detalhe e qualidade. O recurso a métodos procedimentais, cada vez mais utilizados, pode reduzir estes esforços. Nestes métodos o utilizador introduz algumas orientações e instruções para que o modelo seja gerado. Para tal implica que a informação introduzida seja detalhada o suficiente para se obter modelos precisos [dS10].

Contudo, quando o cenário de procura replicar um edifício já construído ou a construir torna-se fundamental que o resultado final da modelação do cenário seja o mais idêntico possível ao modelo real. O criador do jogo terá então de recolher a informação necessária nos projetos e documentação do edifício. Se o edifício seguir o processo tradicional de desenvolvimento a informação estará dispersa em desenhos 2D e em documentos de texto. Isto leva a que o criador do jogo despenda um enorme esforço na recolha, análise e seleção da informação necessária para a criação do cenário.

Por sua vez, se o edifício seguir o conceito BIM, toda a informação relativa ao edifício passa a estar reunida no próprio modelo do edifício. O modelo contém informação geométrica dos todos os elementos que fazem parte do edifício, incluindo mobiliário, pelo que a modelo pode ser utilizada para reduzir os esforços e recursos utilizados na modelação do cenário de jogo.

O modelo BIM de um edifício, além da informação geométrica tridimensional dos elementos, reúne também informação sobre as aparências e propriedades físicas dos elementos e materiais

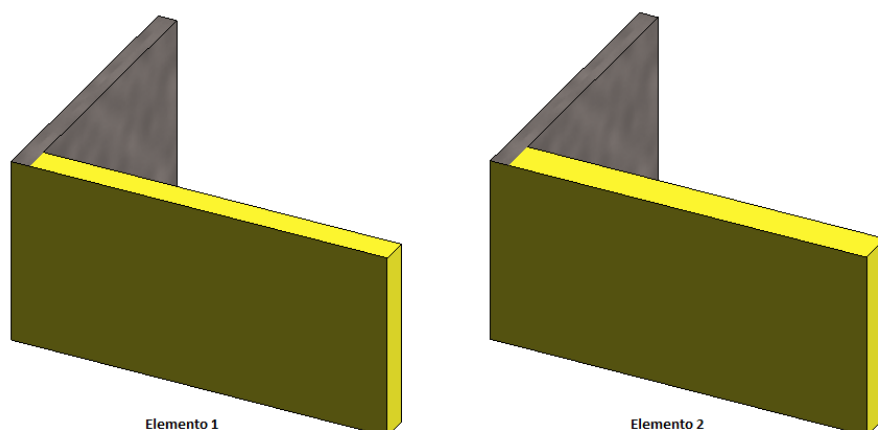


Figura 4.1: Elementos BIM

que compõem os elementos do edifício. Portanto o modelo do edifício funciona como um repositório de informação detalhada sobre cada elemento que constitui o edifício e que posteriormente serão refletidos no cenário do jogo. O modelo torna-se assim num recurso valioso para o criador do jogo. Desta forma pode-se reunir a informação necessária para implementar no cenário do jogo comportamentos e interações mais próximas da realidade.

4.3 Modelação de elementos BIM

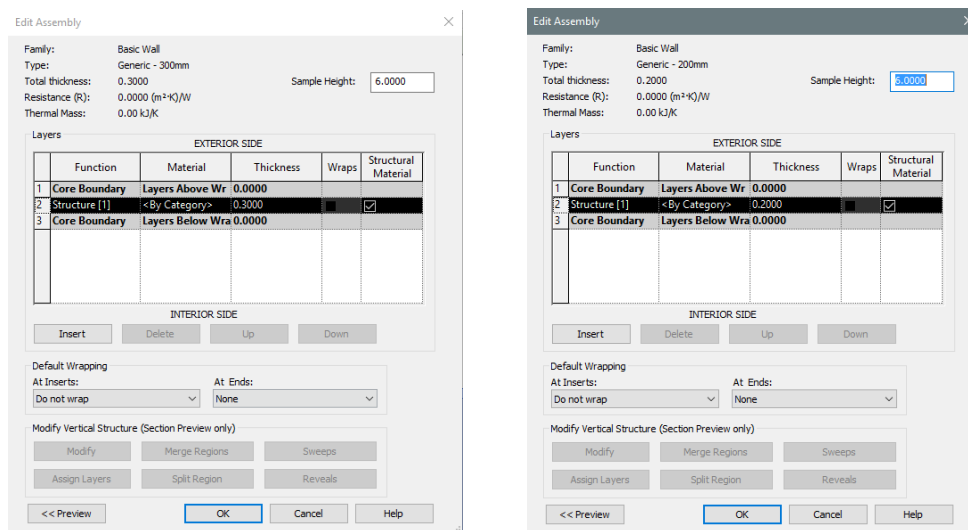
No contexto deste trabalho, os aspetos de maior realce no desenvolvimento de um jogo de simulação é a interação do jogador com o cenário de jogo e o comportamento que o próprio cenário possui no decorrer do jogo. O criador do jogo deve portanto identificar a informação necessária dos objetos para produzir e implementar os comportamentos e as interações apropriadas às finalidades do jogo. Desta forma, o criador de jogo deve enquadrar a informação pretendida nos níveis de desenvolvimento do modelo e assim definir o LOD do modelo BIM.

Por exemplo, se no jogo de simulação prevê-se a ocorrência de um incêndio dentro do edifício, o criador do jogo tem interesse em obter propriedades físicas dos elementos. A resistência ao fogo, a quantidade de fumo produzida ou o fluxo de ventilação do edifício são detalhes de grande relevância para que neste caso seja criado um ambiente mais próximo da realidade. Contudo, se o jogo de simulação tiver como finalidade a navegação e exploração do edifício, por exemplo visualizar o resultado final de uma divisão do edifício se for aplicado o material A ou o material B, o criador do jogo não necessita de informação muito detalhada dos elementos do modelo.

A figura 4.1 mostra dois elementos BIM modelados no programa Revit 2016, da Autodesk.

Como se pode ver, graficamente os elementos parecem ser iguais. Contudo a informação que cada elemento contém é diferente. Na figura 4.2 mostra a informação que o elemento 1 contém.

Integração de BIM e Jogos de Simulação



(a) Parede A

(b) Parede B

Figura 4.2: Constituintes e propriedades das paredes do elemento 1 - Imagens retiradas do Autodesk Revit®

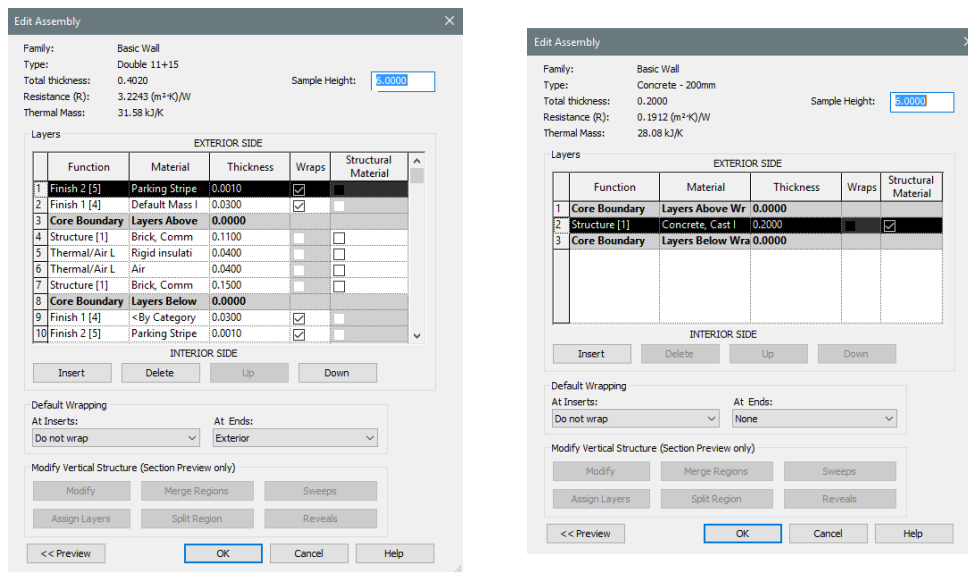
Como é possível verificar, o elemento é composto por paredes genéricas e as suas características e propriedades físicas não refletem as características reais do elemento uma vez que os materiais do elemento ainda não estão definidos. Ao enquadrar o elemento nos níveis de desenvolvimento da BIMForum, pode-se concluir que o elemento apresenta um nível de desenvolvimento LOD 200. Portanto para o elemento 1 é aconselhável considerar apenas as dimensões, as formas geométricas e as localizações dos elementos.

Já o elemento 2, como se pode ver na figura 4.3, apresenta informação relativa às soluções construtivas das paredes, aos materiais que serão ou foram aplicados e às características e propriedades físicas do elemento. Neste caso, e pegando mais uma vez nos níveis de desenvolvimento da BIMForum, pode-se dizer que o elemento apresenta um nível de desenvolvimento LOD 350. Portanto, para além das dimensões e das formas geométricas do elemento pode-se considerar a informação referente aos materiais e às propriedades e características físicas do elementos.

Introduzindo os elementos 1 e 2 nos dois exemplos de jogos de simulação atrás apresentados, o jogo onde se prevê a ocorrência de um incêndio e o jogo de simulação para navegar e explorar o edifício, pode-se verificar que para o primeiro jogo o elemento 1 carece de informação. Ou seja o nível de desenvolvimento está abaixo do nível necessário. O *developer* do jogo necessita de mais informação fiável para poder implementar nos elementos os comportamentos adequados. Contudo o elemento 1 já contém a informação suficiente para o segundo jogo, dado que o *developer* apenas necessita de informação sobre as dimensões, formas e localizações do elementos. Já o elemento 2 apresenta um nível de desenvolvimento suficiente para ambos os jogos.

Com estes exemplos demonstrou-se que a uso dos LOD's como requisitos que os elementos devem cumprir para uma determinada atividade ser executada, faz com que o processo de modelação ocupe um papel fundamental em todo o ciclo de conceção do edifício. Da mesma forma que

Integração de BIM e Jogos de Simulação



(a) Parede A

(b) Parede B

Figura 4.3: Constituintes e propriedades das paredes do elemento 2 - Imagens retiradas do Autodesk Revit®

a atividade de coordenação precisa que os elementos tenham um nível de desenvolvimento LOD 200, os criadores dos jogos devem avaliar a informação que o modelo precisa para desenvolverem o jogo. Posteriormente devem enquadrar as suas necessidades nos níveis de desenvolvimento dos elementos de forma a garantir que o modelo possui a informação necessária e que esta seja fiável.

4.4 Arquitetura e implementação

A industria de AEC é uma industria que envolve vários *stakeholders*. A enorme diversidade de software utilizados na AEC, leva a que qualquer solução desenvolvida tenha em especial atenção a interoperabilidade entre softwares. A adoção do BIM promove ambiente colaborativos e de partilha de informação. Adotando os mesmos princípios colaborativos e de partilha de informação, procurou-se sempre que possível utilizar padrões de arquitetura e desenho que permitam abstrair as plataformas utilizadas.

O BIM é um sistema de informação bastante complexo aplicado à AEC. Como consequência a implementação e integração de novos sistemas e soluções tornam-se processos bastante longos e complexos.

A figura 4.4 apresenta a arquitetura de alto nível da solução idealizada. A solução implementa uma arquitetura baseada em camadas Cliente e Servidor com quatro blocos principais e dois blocos de abstração.

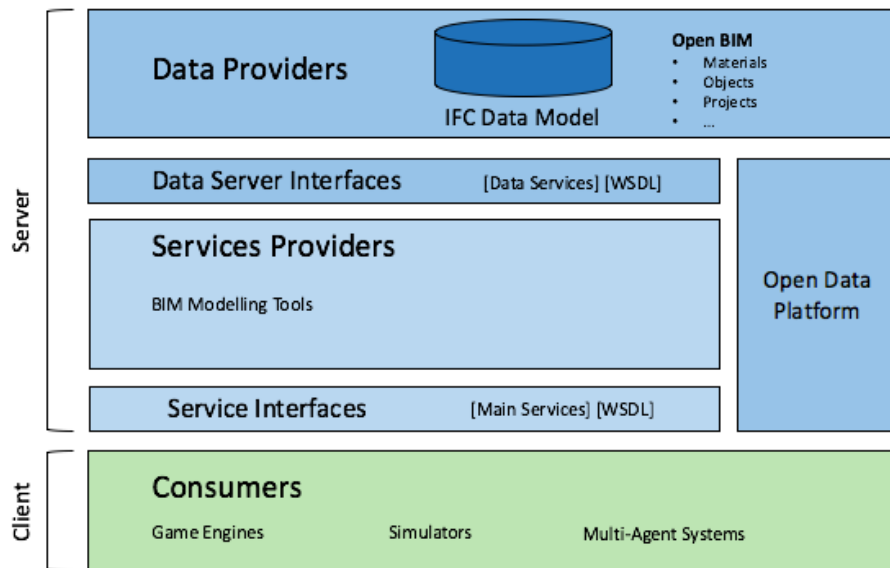


Figura 4.4: Arquitetura de alto nível

A camada de Cliente é caracterizada pelo bloco *Consumers*. Este bloco representa as aplicações clientes que pretendem utilizar os serviços disponibilizados pelos servidores. Um exemplo de uma aplicação cliente é o motor de jogo Unity 3D que será utilizado neste trabalho.

A camada Servidor, por sua vez apresenta um conjunto de sub-camadas mais complexo, uma vez que está diretamente relacionada com o conceito BIM. Nesta camada, o processo de implementação foi dividido em duas fases.

A primeira fase, que é objeto deste trabalho, consiste no desenvolvimento e implementação da camada *Consumers* das sub-camadas *Services Providers* e *Service Interfaces* (figura 4.5). Na sub-camada *Services Providers* fazem parte o conjunto de software de modelação BIM, como o Autodesk Revit® ou o ArchiCAD®, onde são implementados serviços que os *Consumers* utilizarão. Estes serviços são definidos através da linguagem de definição de web-services (WSDL) e tem como principal objetivo abstrair o cliente do servidor e o servidor do cliente. Assim o servidor poderá servir qualquer cliente que utilize o serviço, independentemente. O mesmo acontece no lado do cliente.

A fase posterior consiste no desenvolvimento e implementação de uma plataforma Open Data, representada pelos blocos *Data Providers*, *Data Server Interfaces* e *Open Data Platform*.

O uso desta plataforma permite dissociar o modelo BIM dos software de modelação. A utilização do modelo de dados IFC torna-se essencial para dar continuidade ao modelo de interoperabilidade entre softwares adotado pela indústria AEC. Desta forma, a plataforma terá um componente de dados IFC, sub-camada de *Data Providers*, que permitirá criar bibliotecas de materiais IFC, de objetos BIM e inclusivamente projetos de edifícios. Assim, a plataforma para além de poder ser utilizada como uma ferramenta colaborativa, permite servir de repositório de informação detalhada facilmente acessível aos diversos *stakeholders*. À semelhança da sub-camada do *Services Provi-*

Integração de BIM e Jogos de Simulação

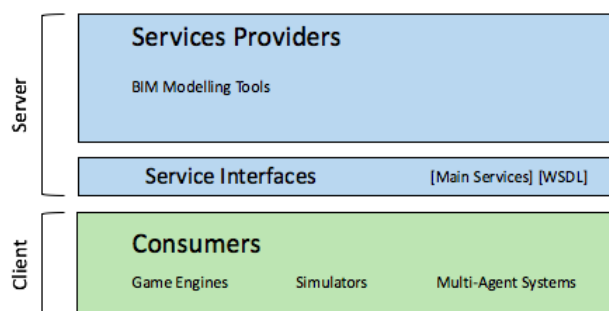


Figura 4.5: Arquitetura de alto nível reduzida - Primeira Fase

ders, será aqui também utilizada uma camada de interface, entre os *Data Providers* e os *Services Providers*. Esta interface será também definida através WSDL e terá como principais serviços a submissão e consulta de informação no servidor de dados. Desta forma manter-se-á mais uma vez a abstração dos softwares utilizados.

A sub-camada *Open Data Platform* servirá de ligação entre os *Consumers* e *Data Providers*. Esta ligação permite que clientes acessem diretamente à informação armazenada nos *Data Providers*. Desta forma, a informação disponibilizada nos *Data Providers* pode ser considerada validada.

A figura 4.6 ilustra a visão geral da solução final deste trabalho. Como se pode verificar existem três partes fundamentais. Uma parte é definida por um conjunto de serviços de armazenamento de dados BIM, *Data Providers*, e que poderão ser utilizados pelos softwares BIM, *BIM Providers* e pelos designados *Consumers*. Os *BIM Providers* representam o conjunto de software BIM que permitem a manipulação de informação nos objetos, materiais e modelos dos edifícios. Os *Consumers* representam o conjunto softwares que utilizam a informação BIM nas sua aplicação mas que não tem capacidade de manipular essa informação. Neste conjunto fazem parte softwares como motores de jogo, simuladores, ou plataformas multi-agentes que permitem desenvolver aplicações com o objetivo de enriquecer os modelos BIM através da sua análise.

Para implementar a solução arquitetada foram utilizados os software AutoCAD Revit, como ferramenta BIM e o Unity 3D como motor de jogo. A escolha recaiu sobre o Autodesk Revit® por se tratar do software BIM mais utilizado pela indústria quer a nível mundial e quer em Portugal. O motor de jogo utilizado foi o Unity 3D, uma vez que no LIACC ¹ foram já desenvolvidos trabalhos [ARC15, Coe13, RAR⁺12a, UAR15] que recorrem este motor de jogo e estiveram na origem deste trabalho.

A figura 4.7 ilustra a estrutura implementada em cada um dos componentes das camadas Client

¹Laboratório de Inteligência Artificial e Ciências de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Integração de BIM e Jogos de Simulação

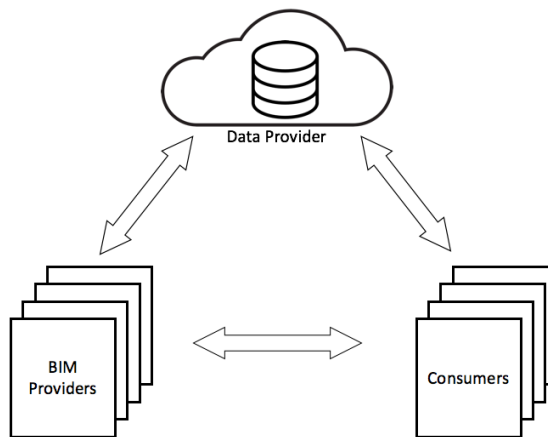


Figura 4.6: Vista geral da solução

e Server da arquitetura reduzida. Conforme é possível verificar, ambos os nós (Cliente e Servidor) utilizam uma camada de comunicação independente da aplicação para expor e requerer o conjunto de serviços fornecidos pela pelo servidor, neste caso da aplicação Revit. Esta estrutura obedece à arquitetura orientada a serviços e que pode ser visualizada na figura 4.8.

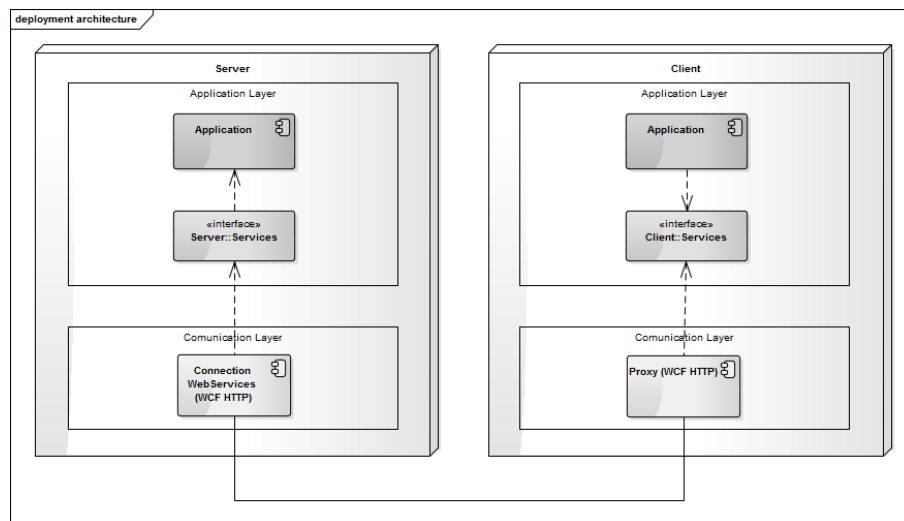


Figura 4.7: Diagrama de arquitetura física

Do lado do cliente é utilizado o padrões de desenho Proxy que expõe a interface do serviço do servidor e abstrai o canal de comunicação com o servidor. Desta forma o cliente pode interagir com o servidor como se este fosse um objeto local.

Do lado do servidor, a aplicação implementa os métodos definidos na interface do serviço. Para o desenvolvimento deste componente recorreu-se ao SDK disponibilizados pela Autodesk. O SDK permite o desenvolvimento de dois tipos de *Add-ins*, *Applications* e *Commands*. O primeiro tipo é inicializado com a abertura do Revit enquanto que o segundo apenas é inicializado após abrir

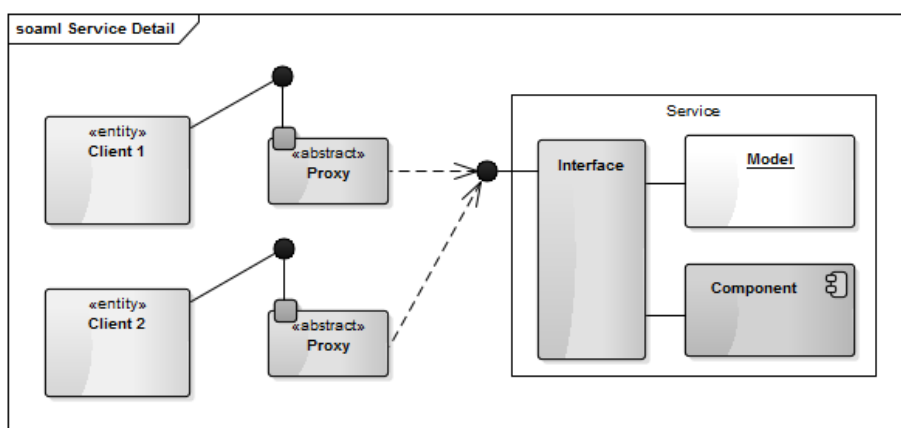


Figura 4.8: Arquitetura Orientada a Serviços

um documento Revit. Os *Add-ins* do *Application* permitem o uso de *Commands*. A abordagem seguida neste trabalho consistiu implementar os serviços como comandos e encapsular os comandos (Serviço) num *Add-in* do tipo de *Application*. A adoção desta abordagem permite que os serviços possam ser utilizados de forma independente por clientes diferentes.

4.5 Dificuldades encontradas e seus tratamentos

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho várias dificuldades foram surgiram. Esta secção mas as principais dificuldades encontradas na implementação da solução nos software selecionados e apresenta a(s) forma(s) como foram ultrapassados.

4.5.1 Modelo IFC

Dados os inúmeros softwares BIM existentes na industria AEC tem-se desenvolvido esforços para utilizar um formato de ficheiro aberto e que seja comum para todas as casas de software. O formato mais utilizado na AEC para partilha de informação obedece ao modelo de dados Industry Foundation Classes (IFC) que tem sido desenvolvido e mantido pela buildingSMART². O objetivo de se utilizar um formato comum a todas as casa de software serve para garantir a preservação da informação contida no modelo quando este é desenvolvido ou utilizado em softwares de casas diferentes.

Os softwares BIM que interpretam ficheiros IFC são alvos de avaliações de importação e exportação de ficheiros IFC. Uma vez a importação e a exportação validadas, os softwares recebem uma certificação de interoperabilidade IFC. Contudo, existente ainda alguma perda de informação

²<http://buildingSMART.org/>

no processo de exportação e importação do modelo. Uma das causas destes erro de compatibilidade deve-se ao facto de cada software de modelação armazenar a informação do modelo numa estrutura de dados proprietária. Apenas quando o modelo é exportado para o formato IFC é que a estrutura de dados do modelo é convertida para a estrutura de dados do modelo de dados IFC. No entanto, existe um conjunto de informação do modelo BIM que não é convertida em entidades IFC quando este é exportado para IFC. Como resultado essa informação é perdida.

A informação relativa à textura usado num material é um exemplo de informação que se perde quando um modelo é exportado para o formato IFC. Se para ações de coordenação, como a deteção de colisões entre elementos, esta informação não é relevante, o mesmo não se verifica para a criação cenários de jogos. Um cenário de jogo onde os objetos apresentam formas e aparências próximas da realidade obtêm um maior impacto na imersão do jogador, pelo que as informações relacionadas com a aparência dos materiais e elementos são muito importantes para a criação de um cenário de jogo. Esta perda de informação foi uma das principais dificuldades encontradas no desenvolvimento deste trabalho.

O uso do modelo IFC, para além da perda de informação na exportação do modelo, apresenta também a dificuldade de ser um formato de dado não suportado pelos motores de jogo. Para tal, seria necessário implementar um interpretador do modelo de dados e recriar o modelo por completo de acordo com a estrutura de dados suportada pelo motor de jogo. Apenas para a obter a geometria do modelo seria necessário, para cada componente de cada elemento, reunir todos os vértices, todos os triângulos, todas as faces e todas as coordenadas de textura e criar objetos de jogo e adicionar novas *meshes*. Além de haver perda de informação na conversão do modelo. A versão mais atual do modelo de dados IFC contem 768 entidades e engloba toda a informação associada ao modelo e aos seus elementos. Esta estrutura faz com que a implementação da conversão do modelo para cada motor de jogo seja uma tarefa bastante árdua.

Para contornar as dificuldades da perda de informação e da importação da geometria do modelo, a solução passou por abdicar do formato IFC e adotar um formato de ficheiros utilizado por ambas as plataformas BIM e motores de jogo.

O formato adotado foi o formato proprietário FBX (.fbx), desenvolvido pela Kaydara e detido pela Autodesk. O utilizador precisa apenas de exportar o modelo para este formato. Ao exportar o modelo a partir do Revit®, é possível selecionar a opção de exportar o modelo considerando o nível de detalhe geométrico. Para tal, o utilizador deve selecionar a opção LOD na janela de diálogo de exportação, conforme ilustra a figura 4.9.

Assim cada elemento do edifício pode ser decomposto num ou mais componentes. Este formato permite também incluir informação sobre os materiais utilizados. No entanto, quando o modelo é usado em softwares de casas diferentes é habitual haver incompatibilidades que resulta na perda de informação. Principalmente quando os materiais utilizados pertencem à biblioteca de materiais do proprietário do software. O modelo pode assim ser importado no motor de jogo com facilidade e ser adicionado à cena de jogo como um objeto de jogo, ver imagem 4.10.

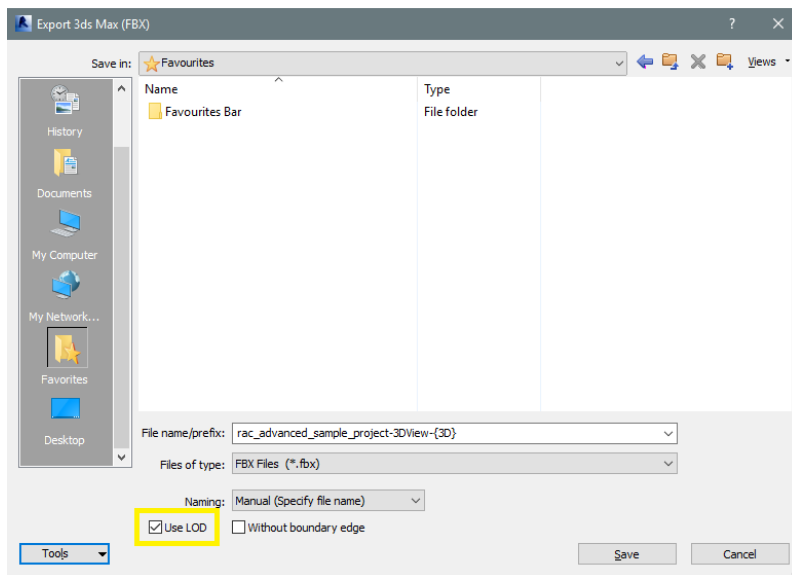


Figura 4.9: Modelo BIM importado no Unity 3D usando o formato FBX

Por sua vez, o objeto de jogo contém os vários elementos do modelo. Cada elemento do modelo contém no seu nome o número de ID usado como referência na plataforma BIM. Através deste número é possível consultar informação detalhada do elemento e dos materiais nele aplicados. Desta forma, a informação geométrica do modelo é transferida para o motor de jogo recorrendo ao formato FBX. A informação adicional é passada através de uma arquitetura cliente-servidor, onde o motor de jogo (cliente) efetua pedidos ao software BIM (servidor) para recolher a informação pretendida.

4.5.2 Autodesk Revit®

Na fase inicial da implementação da solução foi seguida uma abordagem top-down, onde através da arquitetura SOAP se definiu um conjunto de serviços que serviriam de arranque do projeto. Uma vez implementados e testados estes serviços seriam adicionados novos serviços.

A Autodesk disponibiliza uma API para que os seus utilizadores possam desenvolver add-ins para implementar e automatizar algumas das suas rotinas de modelação. Apesar da API suportar a framework .NET 4.5 existem muitas funcionalidades que não estão exploradas. O uso de tarefas assíncronas é um desses casos, sendo o seu uso desaconselhado pela Autodesk. Esta situação levou a implementar o servidor numa rotina bloqueante. Ou seja, após o servidor (Autodesk Revit®) estabelecer a conexão com o cliente (Unity 3D), é iniciada a rotina que para receber, processar e enviar a resposta ao cliente, bloqueia a utilização do programa.

Conforme referido no ponto 4.5.1, os softwares de modelação BIM, como o Autodesk Revit®,

Integração de BIM e Jogos de Simulação

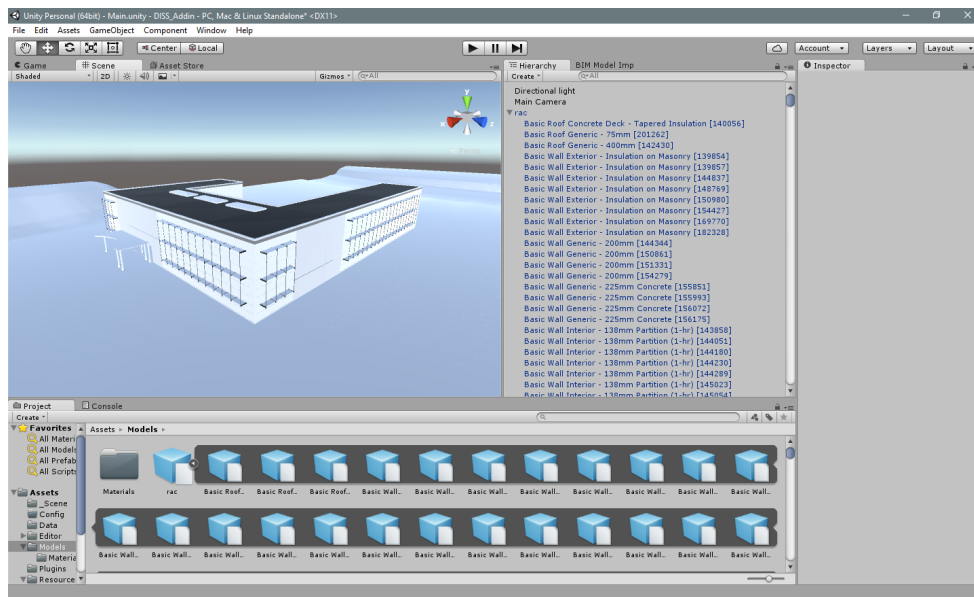


Figura 4.10: Modelo BIM importado no Unity 3D usando o formato FBX

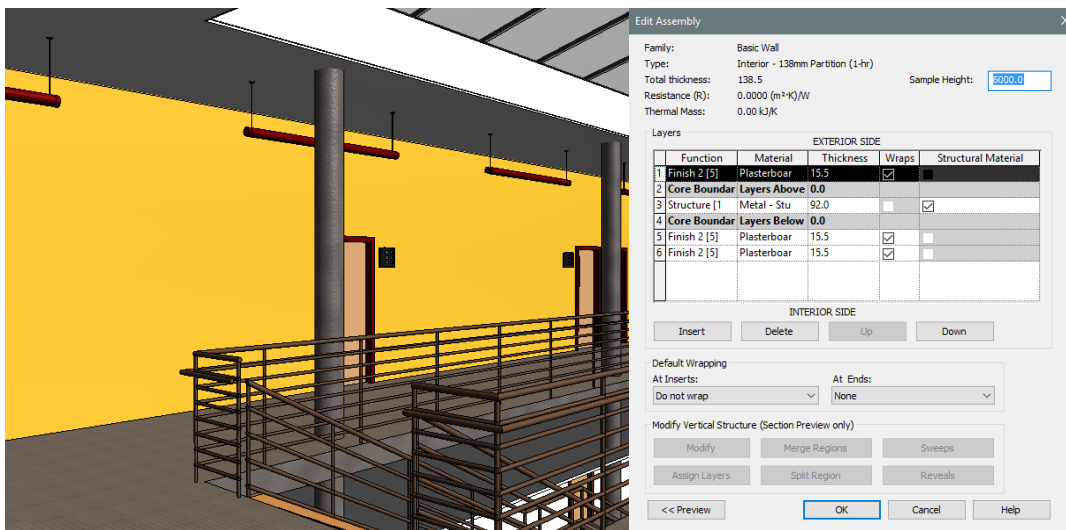
trabalham o modelo com a sua própria estrutura de dados. Assim quando um modelo de um edifício é importado no formato IFC, o software converte automaticamente os dados do modelo para a sua estrutura proprietária.

A complexidade da estrutura de dados do proprietário utilizada no Revit® revelou ser uma das maiores dificuldades deste trabalho. A quantidade de entidades e o facto de não haver uma documentação clara sobre a estrutura e relacionamento dessas entidades, tornou-se num obstáculo difícil de contornar. A forma mais eficaz para a aprendizagem desta estrutura foi a exploração através de metodologias de *debug*. Uma vez que o desenvolvimento de add-ins para o Revit obriga a criação de bibliotecas dinâmicas (dll) e posterior integração no Revit, fez com que este processo se tornasse num processo demorado.

As atualizações anuais do Revit e das respetivas API's mostrou incompatibilidades entre versões. Estas incompatibilidades levaram a que rotinas implementadas em versões anteriores não pudessem ser implementadas de igual forma na versão atual. Por exemplo, na versão do Revit 2012®, as informações sobre a textura de um determinado material estavam acessíveis através de métodos disponibilizados na API. A partir da versão do Revit 2014®, a API sofreu alterações de tal forma que estas informações deixaram de estar acessível pela API. Para ultrapassar esta dificuldade em concreto encontraram-se dois métodos manuais.

O primeiro método consiste em copiar manualmente as imagens de texturas, disponibilizadas pelo Autodesk, para o projeto do Unity 3D. A localização desta pasta depende do sistema operativo e da pasta de instalação do software. A forma mais simples de descobrir a localização da pasta é editar um material do Revit e obter o caminho da imagem utilizada no material.

O segundo métodos consiste em abrir o ficheiro FBX do modelo no software 3ds Max® da Autodesk, que por sua vez descomprime o ficheiro e cria uma pasta "*.fbm" com as imagens de



(a) Vista da parede

(b) Estrutura da parede

Figura 4.11: Diferença de um modelo exportado considerando ou não o nível de detalhe gráfico dos elementos

texturas usado no modelo. Posteriormente copia-se essa pasta para o projeto Unity 3d.

A própria diversidade de informação associada aos materiais introduziu também alguma resiliência na implementação da solução. No Revit, um material apresenta obrigatoriamente um conjunto de informação relativo à identidade do material, um conjunto relativo à representação gráfica (usada no processo de modelação) e um conjunto relativo à aparência do material (usado na visualização 3D do elemento). Apesar da obrigatoriedade destes conjuntos de informação, os mesmos variam consoante o tipo do material. Se o material for um material genérico terá determinados campos, se o material for metálico terá outros campos, etc. A estes conjuntos acrescem também conjuntos relativos às propriedades físicas e propriedades térmicas do material, que poderão ou não estão definidos nos materiais, independentemente do tipo de material. Assim, a liberdade de manuseamento da informação dos materiais permite que o mesmo material seja definido de diferentes maneiras e consequentemente a forma de obter essa informação será também diferente. Para este trabalho optou-se por implementar métodos para extrair informação genérica dos materiais de forma a permitir explorar outras interações entre os sistemas.

No ponto 4.1 é referida a importância dos níveis de desenvolvimento dos elementos no processo de conceção do edifício. O detalhe dos elementos está também relacionado com o detalhe de informação dos materiais. A criação de uma biblioteca de elementos e materiais com níveis de desenvolvimento é um processo moroso que obriga a enormes custos e esforços da equipa de projeto. Apesar deste trabalho utilizar um modelo disponibilizado pela Autodesk, e que se encontra bastante detalhado, é possível verificar em diversos elementos níveis de desenvolvimento abaixo do esperado.

Um elemento onde se pode verificar esta situação é a parede de cor amarela do corredor do último piso do modelo. Como se pode ver na figura 4.11 a parede apresenta um material de cor amarela. Contudo o material aplicado não consta nas propriedades da estrutura do elemento. Ou seja, foi utilizada a ferramenta *Paint* do Revit para atribuir a aparência visual desse material em vez de detalhar a própria estrutura do elemento. Uma vez que a aparência do elemento não corresponde à aparência dos materiais aplicados na estrutura, a informação representada na estrutura do elemento não pode ser considerável fiável. Pelo que a sua utilização pode originar a uma incorreta interpretação do elemento.

Assim reforça-se mais uma vez a importância que os LOD tem tanto no processo de modelação como em fase posterior à modelação.

4.5.3 Unity 3D

O componente Cliente da arquitetura idealizada foi desenvolvida no ambiente Unity 3D versão 5.3.4f1. Esta versão faz uso da framework .NET 2.0, pelo que não suporta versões mais recentes. Como referido na secção 4.5.2, a API do Autodesk Revit suporta apenas as versões 4.0 e 4.5 da framework .NET. O uso de versões diferentes em cada plataforma pode estar na origem dos problemas encontrados na conexão dos dois sistemas e que não foram possíveis de resolver. As dificuldades ocorreram mais concretamente no lado do Unity, no consumo dos serviços disponibilizados pelo Revit.

No sentido de ultrapassar estas dificuldades optou-se então por implementar uma camada de conexão de acordo com o protocolo TCP, via socket, em vez da camada de conexão via Web disponibilizada pelos serviços WCF da framework .NET. Assim, esta solução permite desenvolver aplicações de servidor e cliente de forma independente do protocolo de comunicação. Desta forma evita-se que necessidade de alterar os serviços já implementados caso novos protocolos de comunicação sejam implementados. A figura 4.12 mostra a arquitetura da solução implementada.

Para além das dificuldades relacionadas com os materiais já mencionadas neste capítulo, a aplicação dos materiais no modelo importado apresentou também algumas falhas. Conforme referido no ponto 4.5.1 o modelo pode ser exportado utilizando o nível de detalhe gráfico dos elementos. Um elemento composto por mais do que um componente, por exemplo uma porta, ao ser exportado sem ser considerado o seu nível de detalhe gráfico, transforma as mesh's de cada componente numa única mesh. Desta forma, quando o elemento é importado para o cenário de jogo terá uma única mesh, figura 4.13a. Se o mesmo elemento for exportado considerando o nível de detalhe gráfico, as mesh's de cada elemento ficam agrupadas no mesmo elemento mas de forma independente, figura 4.13b.

Assim se se pretender aplicar um material a cada componente, por exemplo ao aro e ao painel de uma porta, será impossível de o fazer uma vez que o elemento possui apenas uma mesh. A figura 4.13b mostra o resultado de um elemento exportado tendo em consideração o nível de detalhe gráfico do elemento.

Integração de BIM e Jogos de Simulação

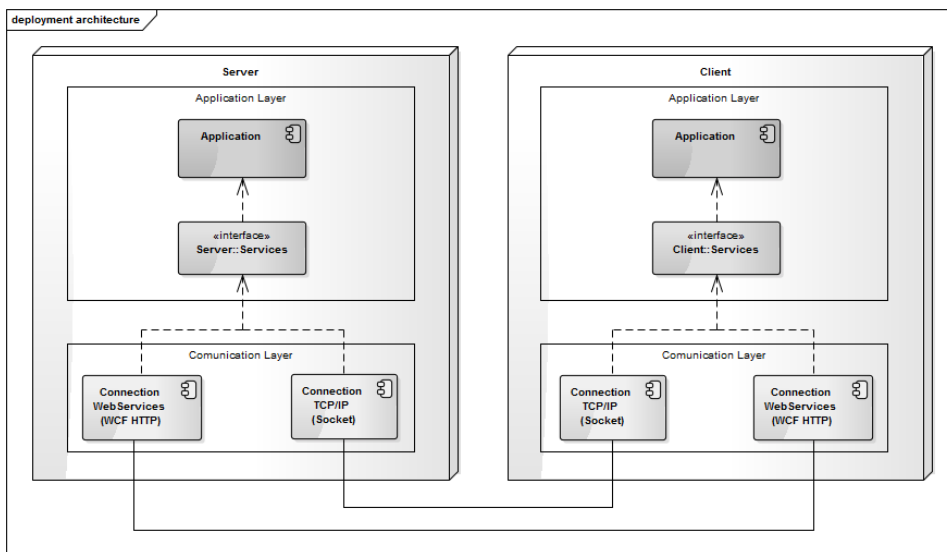
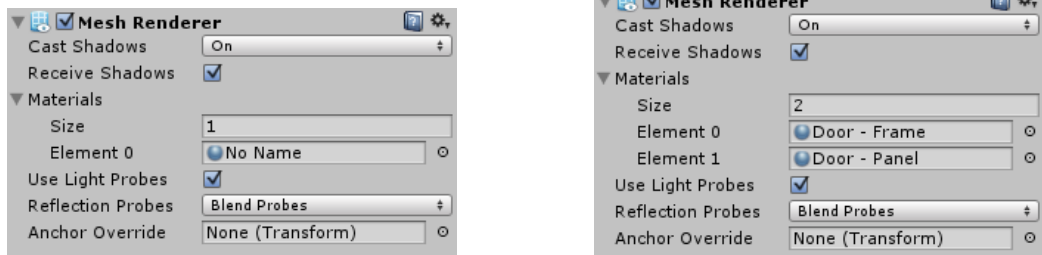


Figura 4.12: Arquitetura Cliente-Servidor implementada

No caso da figura 4.13a é possível verificar que é aplicado um material designado por "No Name", enquanto que na figura 4.13b são aplicados materiais diferentes em cada componente do elemento. O material "No Name" é o material aplicado por defeito quando o elemento apresenta conflitos nos materiais a aplicar ao elemento. O exemplo apresentado demonstra isso mesmo, o elemento possui dois materiais para aplicar numa única mesh.

Para contornar este problema foi implementado o serviço "GetMaterials" para adquirir os materiais de um dado elemento. Assim o Unity efetua um pedido ao Revit para saber quais são os materiais aplicados num dado elemento. Por sua vez, o Revit usa o ID do elemento em causa para reunir os materiais definidos na estrutura no elemento. Uma vez reunida a coleção de materiais do elemento, o Revit retorna os materiais com os dados de cada material para o Unity 3D. Posteriormente o Unity cria os materiais no seu editor. Caso os materiais já tenham existido no editor do Unity, o utilizador pode optar por atualizar as propriedades desse material. Desta forma é possível replicar a biblioteca de materiais do Revit no Unity.

Apesar do elemento da figura 4.13b apresentar diferentes materiais em cada mesh's, não implica que os materiais estejam corretamente aplicados. No modelo utilizada neste trabalho o resultado verificado foi precisamente o oposto. Na maior parte dos elementos os materiais estavam incorretamente aplicados. Para contornar este problema foi implementada uma rotina que replica a estrutura dos materiais aplicados no objeto pelos restantes objetos do mesmo tipo. Desta forma, o utilizador precisa de retificar os materiais apenas num objeto de cada tipo. Esta rotina permite agilizar a configuração do cenário de jogo, embora edifício mais complexos e com elevados tipos de objetos não deixa de ser uma tarefa longa.



(a) nível de detalhe gráfico não considerado

(b) nível de detalhe gráfico considerado

Figura 4.13: Diferença de um modelo exportado considerando ou não o dos elementos

A exportação do modelo considerando os LOD's dos elementos, permite ainda criar objetos de jogo a partir dos seus subcomponentes. Desta forma, o criador do jogo pode controlar cada subcomponente de forma independente. Pegando outra vez no exemplo de uma porta com dois subcomponentes (aro e painel). Ao adicionar a porta no cenário de jogo, o aro e o painel comportam-se como um objeto único. Ou seja, se o utilizador pretender abrir a porta, o aro irá rodar juntamente com o painel. Se o objeto de jogo tiver os subcomponentes separados em mesh's independentes, como na figura 4.13b, os subcomponentes podem dar origem a novos objetos de jogo, figura 4.14.

Assim cada subcomponente passa a ser representado de forma independente e como tal podem ser implementado comportamentos independente. No exemplo da porta, pode-se então implementar o movimento de abertura e fecho apenas no painel, deixando o aro estático.

Outro aspeto relacionado com os problemas na importação dos materiais é a ausência de padronização na estrutura e propriedades dos materiais nos diferentes softwares. O uso de diferentes propriedades para caracterizar as características dos materiais origina ambiguidade na interpretação das propriedades correspondentes entre as duas plataformas. As propriedades de *shininess* e *smoothness* dos materiais são um dos exemplos onde o Revit e Unity apresentam designações diferentes para a caracterização destas propriedades. Por sua vez, estas propriedades têm uma enorme importância na caracterização e renderização do cenário. A incorreta definição destas propriedades podem causar um resultado completamente diferente do esperado.

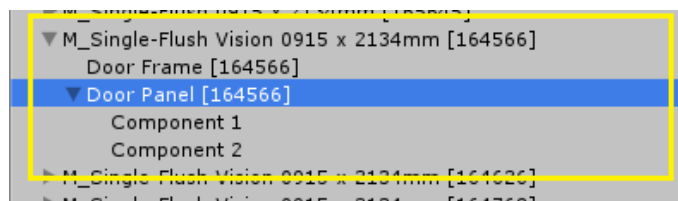


Figura 4.14: Divisão de uma porta nos seus componentes.

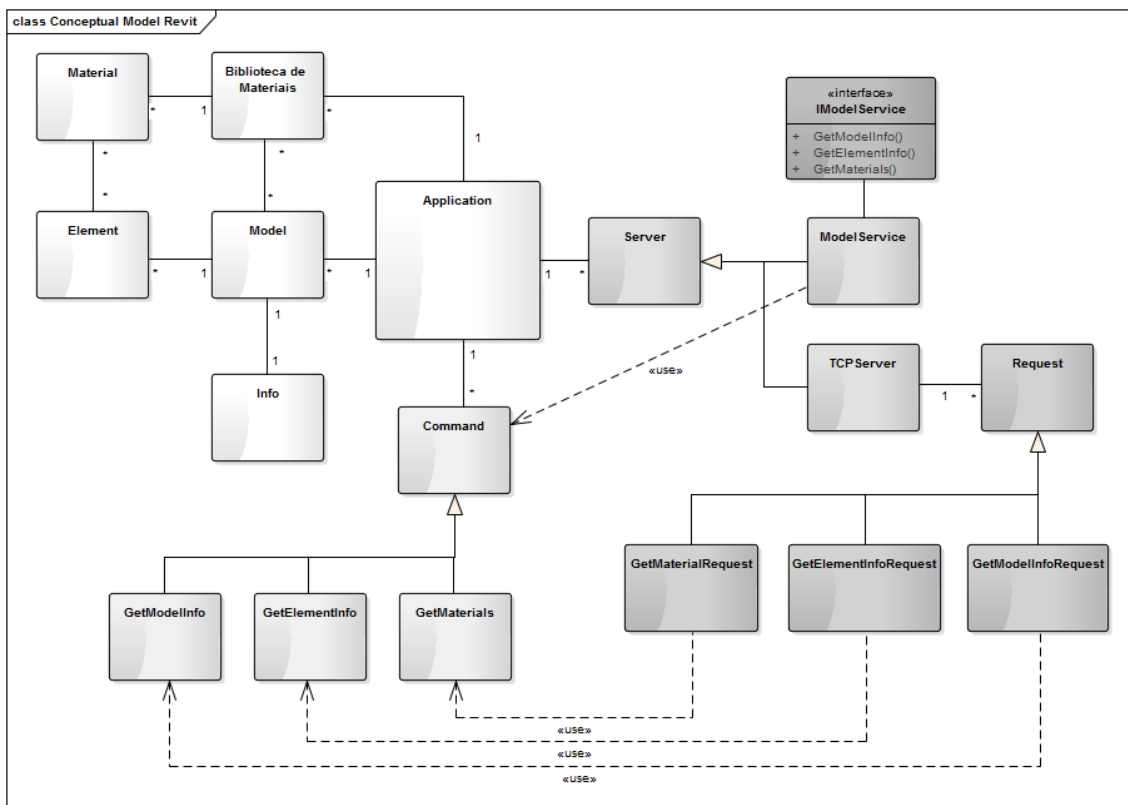


Figura 4.15: Modelo conceptual do servidor

4.6 Modelo Conceptual

Face às dificuldades presenciadas no desenvolvimento deste trabalho, o modelo conceptual da solução foi adaptado de forma a refletir as decisões tomadas para contornar essas dificuldades. As figuras 4.15 e 4.16 apresentam os modelos conceptuais para as aplicações de servidor e cliente, respetivamente.

Servidor

O modelo de dados de proprietário utilizado pelo Revit, conforme referido atrás neste documento, apresenta uma estrutura pesada e bastante complexa. Neste sentido foi implementada uma estrutura de dados mais simples de forma a desenvolver a solução de acordo com as necessidades que surgem.

Assim o modelo do edifício é representado pelo grupo de entidades "Model", "Element", "Material" e "Info". A entidade "Model", representa o modelo BIM do edifício e como tal é constituído por um conjunto de elementos que terão associados um ou mais de materiais aplicados. Por sua vez, os materiais pertencem a uma biblioteca que é utilizada pelo modelo e pela aplicação, ficando assim disponível a vários modelos. A aplicação, representada pela entidade "Application",

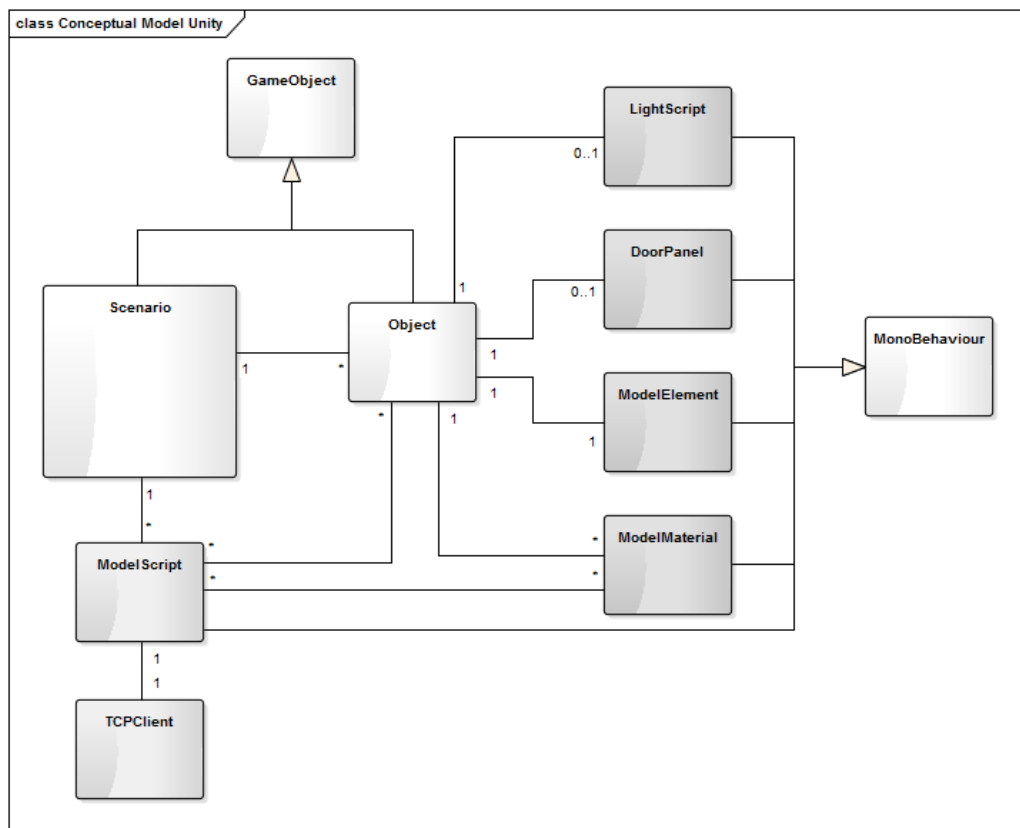


Figura 4.16: Modelo conceptual do cliente

tem comandos do tipo "GetModelInfo", "GetElementInfo" e "GetMaterials" que serão responsáveis pelo tratamento e execução dos serviços disponibilizados pela solução. Posteriormente podem ser implementados novos tipos de comandos para satisfazer as necessidades dos projetos. O modelo conceptual do Revit, inclui os dois tipos de servidor referidos no ponto anterior. O servidor "TCP-Client" recebe pedidos do tipo "GetModelInfo", "GetElementInfo" e "GetMaterials" que invocam os respetivos comandos da aplicação.

Cliente

O modelo conceptual do Cliente resultante deste trabalho reflete apenas as entidades relacionadas o cenário de jogo, pelo que as entidades do jogo não contam no diagrama 4.16. Assim, o cenário de jogo, que deriva da classe genérica "GameObject" do Unity, contém um conjunto de objetos que representam os diversos elementos do edifício. Estes objetos derivam também da classe "GameObject". Ao cenário de jogo é adicionado um "ModelScript" que implementa as atividades apresentadas no diagrama 4.17, que se encontra ilustrado no ponto seguinte. O "ModelScript" contém um objeto do tipo "TCPClient" que permite estabelecer a conexão com o Revit e assim trocar informação sobre os objetos de jogo. Com a informação trocada entre o cliente

e o servidor, o "ModelScript" preenche a lista de elementos "ModelMaterial" que representam os materiais utilizados no Revit. Por sua vez, cada objeto de jogo contido no cenário de jogo, contém um elemento "ModelElement" e vários "ModelMaterial". A entidade "ModelElement" representa a informação BIM do elemento, de forma a poder ser utilizada no decorrer do jogo. Já a entidade "ModelMaterial" reflete a informação BIM dos materiais aplicados no elemento. Um objeto de jogo pode ainda conter um "DoorPanel", caso seja uma porta, ou um "LightScript", caso seja um ponto de luz. Desta forma é possível parametrizar a abertura da porta e a iluminação dos pontos de luz.

4.7 Procedimento e Protocolo de Comunicação

Uma vez ultrapassadas as dificuldades encontradas na implementação da solução, definiu-se o procedimento para a criação do cenário de jogo com modelos BIM e o protocolo de troca de mensagens entre os softwares.

4.7.1 Procedimento

Servidor

Conforme referido no ponto 4.5.1 é esperado que o modelo do edifício esteja no formato FBX. Neste sentido, a primeira etapa é definida pela exportação do modelo do edifício para o formato FBX, tendo o cuidado de exportar o modelo com o nível de detalhe gráfico selecionado. Uma vez exportado o modelo é necessário iniciar o servidor para que o cliente possa aceder à informação dos elementos do modelo.

Cliente

O diagrama 4.17 apresenta a sequência de atividades a seguir para criação do cenário de jogo no lado do cliente. Conforme é possível verificar, as atividades foram agrupadas em quatro fases distintas. Assim temos as três primeiras fases para preparação do cenário e a última fase para o desenvolvimento do jogo.

A primeira fase, designada "Model Geometry", inicia-se com a importação do modelo do edifício em formato FBX para o projeto, seguido da sua adição à cena de jogo. Com estes passos é adicionado um objeto de jogo que de agora em diante será designado de cenário. Este objeto de jogo contém todos os elementos do edifício que por sua vez são também objetos de jogo.

Contudo, é necessário estender a informação disponibilizada pelos objetos de jogo de forma a integrar a informação BIM do edifício. Para tal é executado o próximo passo, "Parse Elements".

Integração de BIM e Jogos de Simulação

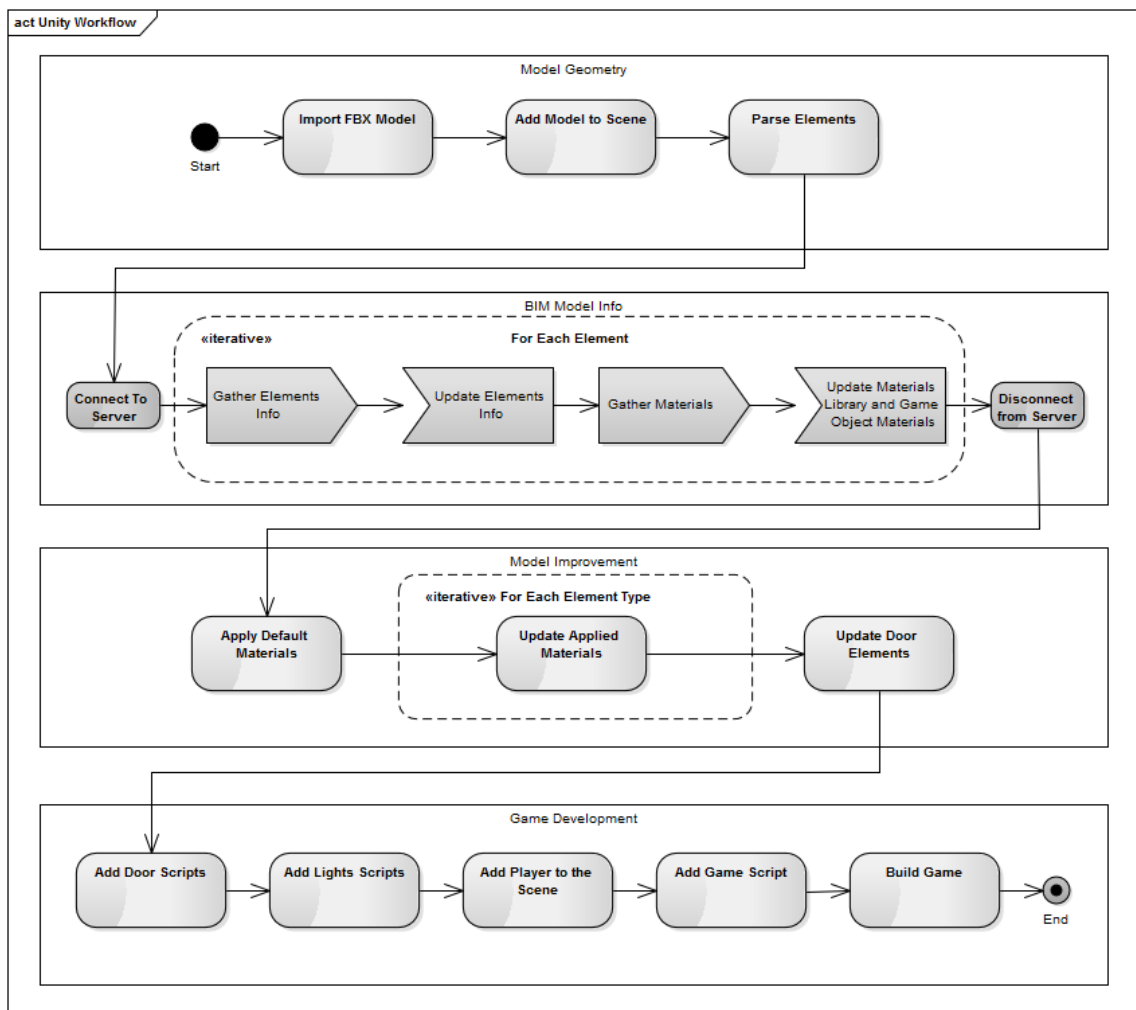


Figura 4.17: Diagrama de atividades da solução

Neste passo, os objetos de jogo contidos no cenário são estendidos com um componente "Mode-Object" que permitirá guardar a informação BIM do objeto. É adicionado o número de identificação e o nome do objeto, de forma a poder ser referenciado no servidor. Depois é necessário completar a informação BIM dos objetos do cenário, segunda fase, pelo que é necessário estabelecer a conexão com o servidor.

A segunda fase, "BIM Model Info", consiste na atualização da informação BIM dos objetos do cenário. Nesta fase é esperado que o cliente complete a informação dos objetos de jogo incluídos do cenário. Assim, através da atividade "Gather Elements Info", o cliente solicita a informação de cada objeto incluído no cenário e atualiza os dados do objeto com a informação BIM recebida. Após os objetos de jogo estarem atualizados, é necessário atualizar os materiais aplicados nos objetos. Para tal são executadas as atividades "Gathers Materials" e "Update Materials Library and Game Object Materials". A primeira consiste no pedido dos materiais e suas propriedades de um determinado elemento. A segunda consiste no processamento e tratamento

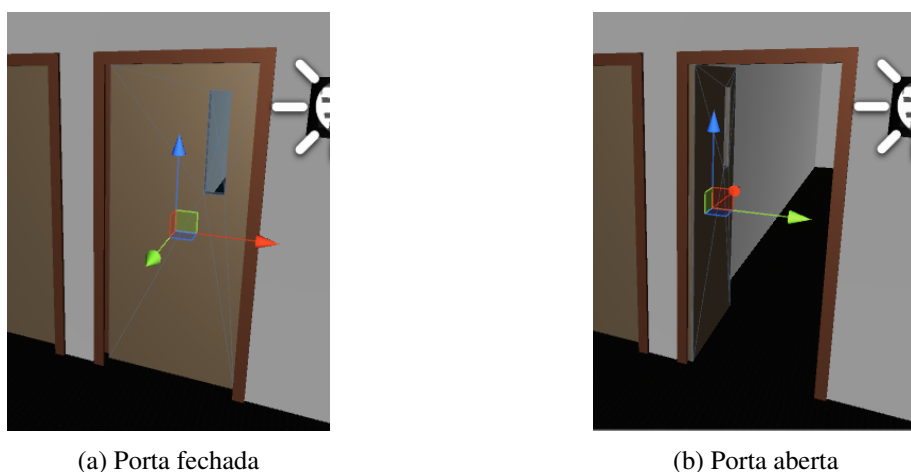


Figura 4.18: Decomposição de uma porta em moldura e painel

da resposta do servidor. Assim se algum dos materiais recebidos ainda não estiver replicado na biblioteca de materiais do cliente, este é criado. Se o material existir, cabe ao utilizador decidir se atualiza ou não a informação do material. Deste forma é possível manter no motor de jogo uma biblioteca de materiais que é o reflexo da biblioteca do software BIM. Uma vez atualizados os elementos e os materiais do modelo, a conexão ao servidor pode ser terminada, uma vez que não estão implementados outros serviços.

Face às dificuldades encontradas na ligação do Autodesk Revit® e o Unity 3D, foi implementado um protocolo de mensagens entre o cliente e o servidor para que estes possam comunicar via socket. Este protocolo reflete os serviços implementados e será apresentado em maior detalhe na ponto seguinte.

A terceira fase, "Model Improvement", consiste no refinamento do modelo de forma a corrigir erros oriundos do formato FBX e que foram apresentados na secção 4.5. A primeira atividade desta fase consiste em corrigir os materiais aplicação em elementos simples. Desta forma garante-se que todos os elementos com um única mesh tem o material corretamente aplicado. Posterior é preciso aplicar manualmente os materiais a cada submesh de elementos compostos. Este passo manual é necessário uma vez que não é possível identificar programaticamente o material correspondente a cada submesh. Assim, o utilizador deve corrigir os materiais dos elementos compostos para cada tipo de elemento composto. Apara agilizar o processo, foi implementada uma rotina que permite replicar a aplicação dos materiais de um objeto aos restantes objetos desse mesmo tipo. Após todos os elementos terem os materiais devidamente aplicados, pode-se então passar à decomposição dos objetos do tipo porta em objeto moldura e painel. Ao decompor os objetos porta neste dois objetos é possível interações a cada um dos objetos de forma independente.

As figuras 4.18b e 4.18a ilustram a decomposição de uma porta na sua moldura e painel e a interação possível com esta decomposição.

Por fim, vem a fase de desenvolvimento do jogo em si, "Game Development". Nesta fase o

Tabela 4.1: Obter informação do modelo

Designação	Parâmetros
GetModelInfo	-
<p>Descrição</p> <p>Esta mensagem tem como objetivo obter a versão do Revit e o nome do documento. Sendo este um comando genérico da aplicação não contém nenhum parâmetro associado. A mensagem de retorno contém informação sobre a versão do software e o nome do documento Revit utilizado.</p>	
<p>Exemplo</p> <p>Mensagem de envio:</p> <pre>GetModelInfo?\$</pre> <p>Mensagem de retorno:</p> <pre>{version:Autodesk Revit 2016 (ENU);name:rac_basic_sample_project.rvt;}\$</pre>	

utilizador deve implementar os *scripts* com as interações pretendidas de acordo com o objetivo do jogo. Na figura 4.17 foram destacados os *scripts* associados à abertura e fecho de portas, ao acender e apagar luzes, ao jogador e à lógica de jogo, uma vez que são as interações que permitem esta solução destacar-se das soluções existentes no mercado.

4.7.2 Protocolo de mensagens

Dada as dificuldades na criação de uma conexão via Webservices entre o Unity 3D e o Revit, foi estabelecido um protocolo de mensagens para a troca de informação entre os softwares. Com a especificação deste protocolo, para além de permitir a comunicação dos dois softwares permite também que estes possam também conectar-se a outros sistema que recorram a este protocolo. Desta forma, o protocolo permite estender a interoperabilidade dos softwares utilizados neste trabalho.

O padrão de mensagens adotado para a troca de informação segue o formato GET e POST do protocolo HTTP, enquanto que as mensagens de retorno seguem o formato JSON. Assim, o pedido pretendido é composto pelo comando pretendido no servidor seguido de um ponto de interrogação e os parâmetros necessários para a execução do comando.

A tabela 4.1 descreve a mensagem associada ao serviço para extrair informação geral do modelo BIM. Esta mensagem para obter informação sobre o modelo, mais concretamente sobre a versão do software utilizado e sobre o modelo BIM utilizado pelo servidor. Uma vez que a informação solicitada pelo cliente não está vinculada a nenhum elemento específico, esta mensagem não requer nenhum parâmetro.

Dado que os elementos do modelo FBX apenas contêm informação sobre o id e o nome do elemento, implementou-se um serviço para extrair mais informação sobre um determinado elemento.

Tabela 4.2: Obter informação BIM de um elemento

Designação	Parâmetros
GetElementInfo	id: ID do elemento
<p>Descrição</p> <p>Esta mensagem tem como objetivo obter a informação sobre o tipo e categoria do elemento BIM com um determinado número de id.</p> <p>Assim a mensagem é composta pelo nome do comando "GetElementInfo" seguido do parâmetro "id" e do respetivo valor.</p> <p>A mensagem de retorno contém os campos id, name, category, type e obs. O campo obs é utilizado no caso do elemento ser uma porta, sendo que toma o valor "Frame" ou "No Frame" caso o elemento tenha ou não moldura.</p>	
<p>Exemplo</p> <p>Mensagem de envio:</p> <pre>GetElementInfo?id=123456\$</pre> <p>Mensagem de retorno:</p> <pre>{{id:654321;name:Door 750x2100mm;category:Doors;type:Glass Door;obs:No Frame;}}\$</pre>	

Para tal, o cliente deve enviar o id do elemento sobre o qual pretende obter mais informação.

A tabela 4.2 detalha a estrutura da mensagem de envio e retorno associada a este serviço. Assim, as atividades "Gathers Elements Info" e "Update Elements" representam os pedidos efetuados pelo cliente e o processamento das respostas. Neste passo, são efetuados pedidos "GetElementInfo" para cada objeto contido no cenário. Após receber a resposta, a informação é atualizada no objeto. Desta forma, os objetos ficam caracterizados quanto ao tipo e categoria BIM, pelo que passa a ser possível implementar interação consoante essas características.

Uma vez caracterizados os objetos do cenário de jogo, o passo seguinte consiste em adicionar a informação BIM dos materiais aplicados nos objetos BIM. A tabela 4.3 descreve a mensagem do protocolo definida para este efeito. O principal objetivo deste serviço é obter informação dos materiais aplicados no determinado objeto e extrair informação sobre as suas propriedades. Neste sentido, o pedido tem o id do objeto como parâmetro. O servidor, por sua vez retira a lista de materiais aplicados no elemento e devolve ao cliente com os materiais e suas propriedades. Posteriormente, o cliente processa os dados recebidos e adiciona-os à sua biblioteca de materiais, caso ainda não existam. Caso existam, o utilizador poderá atualizar os seus dados ou não. Desta forma é possível manter uma imagem da bibliotecas de materiais BIM no motor de jogo. Tal como o pedido de obtenção de informação de cada objeto do cenário, este é também realizado individualmente, sendo portanto enviado um pedido por cada objeto do cenário.

Adicionalmente às mensagens que consomem os serviços disponibilizados pelo servidor foi adicionada uma mensagem para interromper a conexão entre o cliente e o servidor. Esta mensagem

Tabela 4.3: Obter materiais BIM aplicado num determinado elemento

Designação	Parâmetros
GetMaterials	id: ID do elemento
<p>Descrição</p> <p>Esta mensagem tem como objetivo obter os materiais e as suas propriedades aplicado no elemento BIM com um determinado número de id.</p> <p>Assim a mensagem é composta pelo nome do comando "GetMaterials" seguido do parâmetro "id" e do respetivo valor.</p> <p>A mensagem de retorno contém uma lista de elementos com os campos id, name, color, shininess e smothness. Cada elemento representa um material aplicado no elemento.</p>	
<p>Exemplo</p> <p>Mensagem de envio:</p> <pre>GetMaterials?id=123456\$</pre> <p>Mensagem de retorno:</p> <pre>{{id:214365;name:Glass - White;color:{232;232;232;13};shininess:50;smothness:50;}# {id:425361;name:Wood - Pine;color:{153;77;43;255}; shininess:50;smothness:50;}#}\$</pre>	

tem como objetivo terminar remotamente serviço, pelo que não é esperado nenhuma mensagem de retorno. A tabela 4.4 descreve o protocolo utilizado para esta mensagem

Tabela 4.4: Parar conexão

Designação	Parâmetros
StopListening	-
<p>Descrição</p> <p>Esta mensagem tem como objetivo indicar ao servidor que o cliente satisfaz os seus pedidos e como que a conexão será terminada.</p> <p>Não é esperado qualquer mensagem de retorno.</p>	
<p>Exemplo</p> <p>Mensagem de envio:</p> <pre>StopListening?\$</pre> <p>Mensagem de retorno:</p> <pre>sem retorno</pre>	

A figura 4.19 apresenta o diagrama de sequência de mensagens de um exemplo prático da interação entre os softwares Revit e o Unity 3D. O diagrama engloba as duas primeiras fases do procedimento definido neste trabalho, "Model Geomoetry" e "BIM Model Info". Na segunda fase é possível visualizar também a implementação da arquitetura especificada na figura 4.12.

Os componentes Cliente e Servidor estão implementados numa camada diferente das camadas de aplicação do Unity 3d e Autodesk Revit, respetivamente. Assim, as camadas de aplicação do

Integração de BIM e Jogos de Simulação

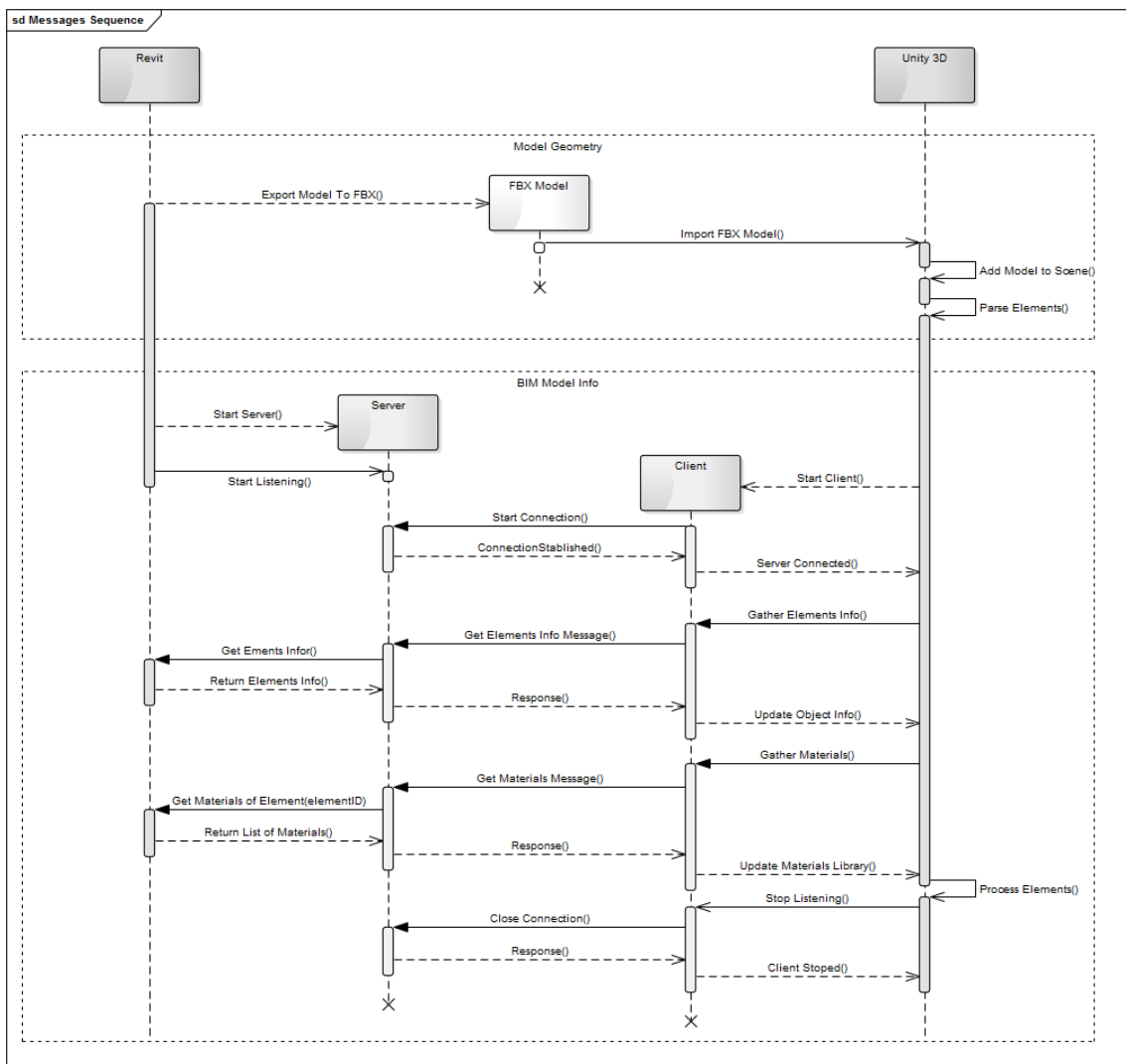


Figura 4.19: Diagrama de sequência de mensagens entre o Revit® e o Unity 3D

Unity 3D e do Revit ficam unicamente responsáveis pela execução e tratamento dos pedidos enquanto que as camada de comunicação do cliente e servidor ficam responsáveis pela codificação/decodificação e envio/recepção de dados. O cliente o o servidor solicita os serviços da camada da aplicação para executar o pedido solicitado pelo cliente. A camada de aplicação executa o serviço solicitado de forma independente do tipo de comunicação utilizado pelo servidor. Após a execução do serviço retorna o resultado para a camada de comunicação e esta encarrega-se de transmitir o resultado ao cliente. Assim, uma vez implementada a comunicação via Webservices, a camada de aplicação necessite de sofrer alterações. Na figura 4.19 está refletida a comunicação via TCP/IP via sockets.

Capítulo 5

Aplicação a caso de estudo

No sentido de avaliar a solução desenvolvida neste trabalho foram realizados quatro casos de estudo. Os casos de estudo consistem em executar um conjunto de ações para alcançar um fim comum, que neste caso será um ambiente virtual de um edifício onde o utilizador possa navegar livremente pelo edifício segundo um vista de primeira pessoa. Cada caso de estudo usará um conjunto de ferramentas diferentes e será avaliado num conjunto de parâmetros. Posteriormente é feita uma comparação entre os resultados obtido em cada caso de estudo no sentido de obter uma avaliação relativa entre os vários conjuntos.

5.1 Casos de estudo

O caso base de estudo deste trabalho consiste obter um ambiente virtual de um edifício BIM, onde o utilizador possa navegar livremente pelo edifício com uma vista de primeira pessoa. Neste sentido foram definidos quatro casos de estudo onde são utilizados conjuntos de ferramentas diferentes. Cada caso de estudo foi avaliado de acordo com um conjunto de métricas de forma a avaliar a solução individualmente e posteriormente comparar com as restantes soluções.

As métricas definidas para avaliação das soluções são:

- Nível de esforço necessário;
- Necessidade de tarefas manuais;
- Quantidade de ferramentas necessárias;
- Dependência de software;
- Experiência do utilizador;
- Nível de realismo do cenário (renderização);
- Interações do utilizador com o modelo;
- Expansão e integração com outros sistemas;

Aplicação a caso de estudo

O esforço necessário representa a caracterização qualitativa da solução quanto ao número de passos necessários para obter o ambiente desejado, comparativamente com as restantes soluções. Assim, se a solução necessitar de um número de passos superior ao das restantes soluções terá a classificação de esforço necessário Alta. Se a solução precisar de menos passos terá a classificação de esforço necessário Baixa.

Caso a solução obrigue a realizar correções individualmente de materiais ou de elementos é considerado que a solução tem tarefas manuais. Caso a solução não precise de correções pontuais dos elementos é considerado que a solução não possui tarefas manuais.

A quantidade de ferramentas necessárias contabiliza o número de softwares utilizados nos processos de cada solução. Assim, são tidos em conta os softwares onde o utilizador manipula o modelo do edifício, realiza operações de renderização do modelo ou implementação de comportamentos nos elementos do modelo.

A dependência de software consiste na limitação da solução aos softwares utilizados. Ou seja, caso a solução apenas permita a utilização de determinados formatos de ficheiros ou que os softwares de uma casa de software é considerado que a solução está dependente dos softwares. Caso contrário, é considerado que não está dependente de softwares.

O nível de realismo do cenário e o nível de interação do utilizador com o modelo é avaliado qualitativamente de Bom, Aceitável e Baixo. Este critério tem em conta os níveis das restantes das soluções. Assim, uma solução com a classificação de Bom significa que apresenta um resultado acima da média comparando com as restantes soluções.

O critério de expansão e integração com outros sistemas considera a possibilidade de integrar na solução sistemas externos, como sistemas multi-agente ou simuladores. A expansão da solução a outros usos ou a integração de sistemas multi-agente ou simuladores permite potenciar a solução, pelo que a existência desta possibilidade é vista como uma vantagem.

Nos casos de estudo deste trabalho utilizaram-se ferramentas utilizadas atualmente na AEC para a exploração do modelo e por fim a solução desenvolvida. Assim, o primeiro consiste em utilizar a ferramenta de visualização avançada disponível com o Autodesk Revit®. No segundo caso é utilizado o software BIMx, da empresa Graphisoft. Neste caso, foi utilizado outro edifício modelo uma vez que o software exige que o modelo esteja num determinado formato de ficheiro. O caso três consiste em utilizar o motor de jogo Stingray, da Autodesk. O Stingray foi adquirido pela Autodesk para promover a exploração em tempo real, animação e interação do modelo do edifício. Assim este caso é o caso de estudo que mais se aproxima da solução desenvolvida neste trabalho. Por fim, o último caso consiste em avaliar a solução desenvolvida usando os softwares Autodesk Revit® e Unity 3D.

Nos casos de estudo um, três e quatro foi utilizado o modelo¹ avançado Revit disponibilizado pela Autodesk no seu sítio Web. A escolha deste modelo resultou da necessidade de utilizar um

¹<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Revit-GetStarted/files/GUID-61EF2F22-3A1F-4317-B925-1E85F138BE88-htm.html>



Figura 5.1: Navigation Wheel - Autodesk Revit®

modelo com complexidade geométrica elevada de forma abranger o maior número de casos possíveis. Ao mesmo tempo era necessário que os elementos tivessem um nível de desenvolvimento tal que permitisse extrair informações sobre a composição dos elementos e materiais aplicados. No caso de estudo 2, dada a dependência do formato da ferramenta, foi utilizado outro edifício. Para utilizar o mesmo edifício modelo obrigaria à conversão do modelo para um formato suportável pelo software ArchiCAD da Graphisoft. Este passo levaria à perda de parte de informação, como já foi referido no capítulo 4. Como consequência o resultado final da avaliação do caso de estudo estaria influenciado pela perda de informação originada pela conversão. Ao usar um modelo disponibilizado pelo próprio software, o caso de estudo está a partir de uma base equivalente aos restantes casos de estudo.

5.1.1 Caso 1: Revit ("Navigation Wheel")

O Autodesk Revit® disponibiliza aos seus utilizadores uma ferramenta designada "Navigation Wheel", figura 5.1, que permite ao utilizador visualizar e explorar o modelo do edifício segundo uma perspetiva de primeira pessoa. Este caso de estudo consiste a fazer uma avaliação dessa ferramenta.

Um vez que esta ferramenta faz parte do próprio Autodesk Revit® o nível de esforço necessário para conseguir navegar pelo edifício é Baixo. O utilizador apenas necessita de configurar uma vista 3D do modelo e utilizar a "Navigation Wheel".

A navegação do modelo realiza-se no próprio software de modelação, pelo que o utilizador não precisa de realizar nenhuma conversão do modelo. Assim, a informação contida nos elementos mantém a estrutura de dados proprietária e leva a que não haja perda de informação. Desta forma o utilizador a não tem de executar tarefas manuais para a criação do ambiente virtual.

Aplicação a caso de estudo

O utilizador precisa de utilizar apenas o software Autodesk Revit®. Contudo, o software por si só é bastante complexo e requer algum conhecimento e experiência do utilizador. Por sua vez a "Navigation Wheel" apenas permite utilizar um instrumento de cada vez. Desta forma o utilizador pode apenas caminhar para a frente ou para trás e quando parado pode rodar a perspetiva ou consultar a informação dos elementos. Esta ferramenta não realiza os cálculos de colisões entre o utilizador (câmara) e as paredes, pelo que permite que o utilizador atravesse paredes. A ferramenta não utiliza motores físicos, pelo que o utilizado pode permanecer n ar. Em termos de renderização do ambiente, o Autodesk Revit permite a geração de imagens e ambientes renderizados. Contudo, o processamento da renderização é bastante lento e sempre que o utilizador move a câmara, a mover-se ou a rodar, a renderização reinicia novamente, pelo que torna a navegação com renderização praticamente impraticável. Estas condicionantes da ferramenta torna o ambiente pouco interativo e realista.

A "Navigation Wheel" é uma ferramenta desenvolvida exclusivamente para o Revit, pelo que neste momento não apresenta a possibilidade de extensão e integração com outros sistemas.

Em resumo, a ferramenta "Navigation Wheel" permite ao utilizador uma navegação e exploração rápida pelo modelo sem que haja qualquer perda de informação. Contudo, a sua utilização requer um certo nível de experiência e conhecimento do Revit que impede o seu uso por qualquer utilizador. O facto da ferramenta não utilizar motores de física que permitam efetuar cálculo de colisões e gravidade dos objetos, faz que o ambiente dê a liberdade ao utilizador de realizar ações irrealistas.

5.1.2 Caso 2: BIMx

O Software BIMx é uma aplicação desenvolvida pela Graphisoft a visualização 2D e 3D de um modelo BIM. A aplicação encontra-se disponível para dispositivos móveis com sistema operativo iOS e Android. Esta aplicação procura estender a visualização e exploração do modelo a qualquer utilizador que não tenha qualquer conhecimento ou experiência em software de modelação de projetos BIM. Com o aumento da variedade de utilizadores a visualizar e explorar o modelo é possível obter mais e diferentes opiniões sobre o resultado esperado do edifício.

Ao utilizar uma aplicação independente, o utilizador tem acesso ao modelo BIM sem que este tenha de adquirir a licença de um software de modelação BIM. No entanto, é necessário que o modelo seja exportado para o formato "bimx", o qual é proprietário a Graphisoft. Para tal é necessário que o modelo seja exportado a partir do software ArchiCAD, o que pode originar perdas de informação se o modelo for desenvolvido noutro software BIM e posteriormente importado para o ArchiCAD. Assim, o utilizador não precisará de realização ações de correção na aplicação BIMx, mas os projetistas podem precisar de retificar possíveis perdas de informação ao importarem modelo de terceiros para o ArchiCAD.

A aplicação utiliza motores de física, pelo que quando utilizando a opção de caminhar, a vista apresenta um comportamento semelhante ao andar de uma pessoa. O utilizador pode subir e descer escadas, ao contrário do que acontece com a ferramenta "Navigation Wheel" apresentada no caso

Aplicação a caso de estudo



(a) Vista de primeira pessoa

(b) Atravessamento de uma porta

Figura 5.2: BIMx

anterior. Assim o esforço necessário para explorar e navegar pelo edifício e as tarefas manuais para efetuar correções no modelo fica a cargo da equipa de projetistas do edifício.

A aplicação permite calcular colisões entre o utilizador e o modelo, no entanto a interação do utilizador com o modelo apresenta algumas limitações. A figura 5.2b apresenta o caso onde o utilizador atravessa uma porta para poder passar de uma divisão para outra, em vez de abrir e fechar a porta. A renderização é processada no momento da exportação pelo que a aplicação não precisa de realizar nova renderização sempre que o utilizador se movimenta. A figura 5.2a, apresenta as melhorias evidenciadas na renderização do modelo. O utilizador pode ainda aceder à informação BIM de cada elemento, embora a informação disponível seja apenas uma parte da informação total do elemento.

A aplicação BIMx é desenvolvida pela Graphisoft e neste momento não possibilita a extensão e integração da aplicação com outros sistemas.

Em resumo, a aplicação BIMx permite ao utilizador ter uma melhor experiência e mais realista comparando com o caso de estudo 1. O modelo contém a renderização dos elementos pelo que permite uma navegação mais fluente pelo utilizador. O facto de a aplicação não requerer conhecimentos e experiência prévia, torna a aplicação uma ferramenta de destaque para recolher opiniões de intervenientes que não estão ligados à indústria AEC. Contudo, a aplicação obriga a que a conceção do modelo seja realizada ou utilize o software ArchiCAD. Desta forma a equipa projetista fica obrigada a utilizar o software específico de modelação BIM. A aplicação apresenta ainda limitações na interação do utilizador com o modelo que diminui o realismo do modelo.

5.1.3 Caso 3: Revit + 3Ds Max + Stingray

Em junho de 2014 a Autodesk adquiriu o motor de jogo Bitsquid que posteriormente foi renomeado de Stingray®. Desta forma a Autodesk procura utilizar as potencialidades do motor de

jogo para renderizar os seus modelo em tempo real e ao mesmo tempo promover melhores experiências virtuais aos seus utilizadores. Assim, este caso de estudo consiste em avaliar o resultado final da utilização desta ferramenta para a criação de ambientes virtuais.

O Stingray permite a utilização de modelos BIM desenvolvidos no software Autodesk Revit®. No entanto, apesar da navegação do utilizador e visualização do modelo em tempo real se realizar no Stingray, é necessário que este estabeleça uma conexão com o software de modelação 3Ds Max da Autodesk. Assim, em primeiro lugar o utilizador tem de exportar o modelo BIM do Revit® para o 3Ds Max. Este passo serve para converter os materiais do modelo Revit® nos formato utilizados pelo motores de jogos. Posteriormente, o utilizador estabelece uma conexão entre o 3Ds Max e o Stingray para refinar os efeitos das luzes e reflexão dos elementos do modelo. Apenas nessa altura o utilizador poderá navegar e interagir com o modelo do edifício. Uma vez que os software têm propósitos diferentes leva a que a utilização de cada software requiera conhecimentos prévios para a sua utilização. Este processo obriga a utilização de três software distintos pelo que resulta num maior esforço na geração do ambiente virtual. Após a criação do ambiente virtual o utilizador final não necessitará de ter conhecimentos ou experiência em software de modelação BIM.

A renderização do cenário obtido no final do processo apresenta um elevado nível de realismo. A informação BIM do modelo mantém-se acessível quando o modelo BIM do edifício é desenvolvido no Revit® e a exportação é realizada através do Add-in de terceiros procad®. Uma alternativa ao Add-in procad® é utilizar o formato FBX para transferir o modelo para o 3Ds Max e posteriormente ligar ao Stingray. Esta alternativa leva à perda de informação BIM dos elementos e como resultado o modelo virtual fica limitado à geometria modelo sem que seja possível aproveitar a informação BIM do modelo para tornar o ambiente mais interativo e realista.

Uma vez que o Stingray é um software para a criação permite a implementação de interações personalizadas entre os utilizadores e o modelo. Desta forma é possível implementar a abertura e fecho de portas, assim como outros comportamentos e interações que sejam adequadas à utilização pretendida.

Por fim, o Stingray permite a integração com ferramentas de simulação para que o utilizador possa avaliar o desempenho e evolução do comportamento em determinadas soluções. Dispõe de ferramentas de programação visual de forma a que o utilizador possa desenvolver as aplicações sem que tenha conhecimentos de programação avançados. Permite também desenvolver aplicações para diversos sistemas operativos.

Em resumo o uso do Stingray é uma ferramenta que permita criar ambiente virtuais com elevado realismo na renderização e interação. No entanto, o facto desta solução requerer o uso de três software distintos exige um esforço acrescido por parte dos utilizadores em adquirir conhecimentos para a utilização dos softwares. Esta solução limita de certa a forma o uso de softwares da mesma casa de software uma vez que a interoperabilidade entre softwares apresenta ainda algumas falhas.

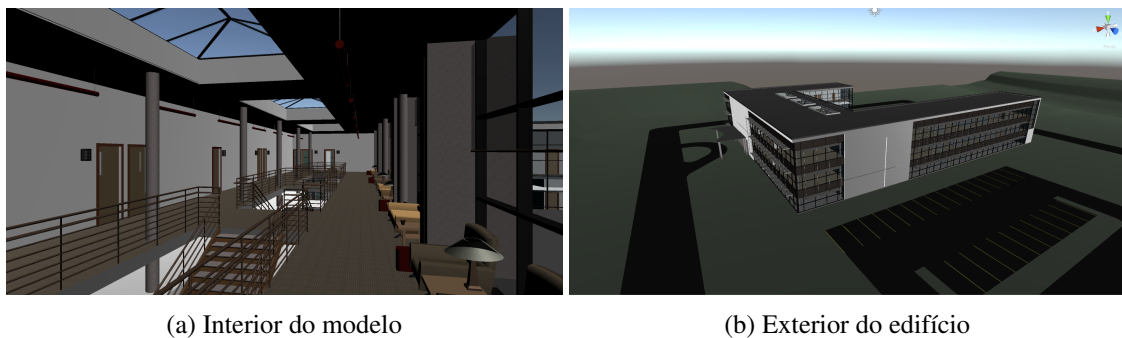


Figura 5.3: Ambiente virtual final

5.1.4 Caso 4: Revit + Unity 3D

A combinação do Autodesk Revit® e Unity 3D serve de suporte à solução desenvolvida neste trabalho, pelo que a mesma pode ser implementada noutros softwares desde que adotem o protocolo de mensagens apresentado no capítulo 4.

Neste sentido, a solução necessitará de dois softwares. Um software para o tratamento da informação BIM do modelo e que desempenhará o papel de servidor e outro software para a implementação de interação do utilizador com o modelo que terá o papel de cliente. Ao mesmo tempo, este será responsável por gerar a aplicação para o modelo possa ser explorado por qualquer utilizador. No fim do processo o utilizador final não necessita de conhecimentos ou experiência nos softwares utilizados para criação do ambiente virtual.

No entanto, o processo de geração do ambiente virtual requer algum esforço, uma vez que o formato utilizado para a importação do modelo para o Unity 3D perde informação dos materiais aplicados nos materiais. Desta forma, é necessário obter dados perdidos na exportação do modelo e corrigir os materiais aplicados nos elementos. Contudo, a solução implementa rotinas que permitem agilizar estas tarefas. Da mesma forma que as bibliotecas BIM dos softwares vão evoluindo e ficando mais completas, o que a longo prazo se reflete num menor esforço para o utilizador, a solução proposta permite criar um biblioteca de materiais que a longo prazo permite obter melhores resultados visuais e com menor esforço.

O uso do protocolo de mensagens definido neste trabalho e o uso do formato permite abstrair os softwares a utilizar. No entanto, a solução foi implementada apenas no Unity 3D e Revit, pelo que para utilizar outros softwares, como por exemplo o ArchiCAD ou Unreal Engine, é necessário implementar os componentes servidor e cliente adequados ao protocolo definido.

A figura 5.3 apresenta o ambiente virtual resultante do processo definido na solução. Conforme é possível verificar o resultado obtido é um ambiente virtual bastante aceitável mesmo sem depender grandes esforços no Unity a configurar as propriedades de iluminação, fator que tem grande influência no realismo do cenário.

A solução implementada introduz automaticamente fontes de luz nos elementos que representam pontos de luz no modelo. Neste sentido, através de um simples script, é possível implementar interações entre o elemento e o utilizador final para que este possa acender ou apagar a luz quando

entra ou sai de numa divisão do edifício. O mesmo acontece com os elementos do tipo "Porta". A solução atualiza automaticamente os elementos do tipo porta de forma a que seja possível implementar interações entre o elemento e o utilizador final. Relativamente à informação BIM dos elementos passível de consulta na aplicação é ainda um pouco limitada uma vez que os serviços implementados apenas transferem a informação base dos elementos. Contudo está previsto a implementação de novos serviços de forma a enriquecer a informação disponível ao utilizador final.

Uma vez que a preparação do ambiente virtual é realizada no Unity 3D, é possível integrar sistemas de simulação e multi-agentes compatíveis com o Unity e que permitem potenciar a aplicação de exploração e navegação do ambiente virtual.

Em resumo, a solução apresentada permite, com alguma preparação do modelo, obter ambientes virtuais com uma renderização aceitável e um nível de interação elevado. A preparação do modelo é realizada no editor do Unity pelo que neste passo apenas é necessário conhecer o Unity. Já a aplicação resultante do processo permite que seja utilizada por pessoas sem qualquer conhecimento em Revit ou Unity. A utilização de um protocolo de comunicação entre software permite que a solução seja estendida a outras plataforma, pelo que a solução não fica restringida a determinados softwares. A possibilidade de integração de sistemas de simulação é uma vantagem para a solução uma vez que permite tirar proveito dos simuladores para potenciar operações de análise do modelo. A integração com sistemas de multi-agente é também uma vantagem pois permite incorporar no modelo personagens não controláveis no modelo no sentido de promover experiências mais interativas com o utilizador. Contudo existe ainda algumas limitações, nomeadamente nos serviços implementados, que limitam a informação BIM incorporada no modelo, e nas correções manuais que é necessário realizar no modelo.

5.2 Análise comparativa dos casos de estudo

No ponto anterior cada caso de estudo foi analisado individualmente. Os resultados obtidos para cada critério analisado, em cada uma das soluções, encontram-se resumidos na tabela 5.1. Conforme é possível verificar, cada caso apresenta um conjunto de vantagens e desvantagens que o torna mais ou menos adequada em relação às restantes soluções.

Assim, a solução do Revit, caso de estudo 1, torna-se uma solução válida quando se pretende realizar simples visualizações e explorações do modelo. Nestas situações o utilizador procura realizar ações rápidas de visualização sem precisar de realizar interações com o modelo ou que este tenha um boa renderização. Como estas ações pretendem-se que sejam rápidas, o facto do utilizador ter de utilizar mais do que um software para obter um ambiente virtual torna-se uma desvantagem. Contudo, a navegação do utilizador disponível nesta solução é pouco prática para o utilizador, pelo que neste aspeto as restantes soluções são uma melhor opção. O mesmo se verifica com a renderização do modelo. Se o utilizador pretender navegar pelo modelo com um nível de

Aplicação a caso de estudo

Tabela 5.1: Análise comparativa das soluções

Critérios		Revit	BIMx	Stingray	Unity 3D
Esforço		Baixo	Baixo	Elevado	Médio
Correções no modelo		Não	Não	Sim	Sim
N.º de Ferramentas		1	1	4	2
Dependências de Software		Sim	Sim	Sim	Não
Conhecimento de utilização		Sim	Não	Não	Não
Renderização		Baixo	Aceitável	Bom	Aceitável
Interações	Luzes	Não	Não	Sim	Sim
	Portas	Não	Não	Sim	Sim
	Info	Sim	Limitada	Sim	Limitada
Integração de outros sistemas (simuladores, sistemas multi-agentes,...)		Não	Não	Sim	Sim

renderização aceitável as restantes soluções conseguem melhores resultados, uma vez que para obter nível de renderização elevados a navegação pelo modelo fica impraticável.

Já o BIMx consegue um nível de renderização aceitável ao mesmo tempo que permite uma navegação na perspetiva de primeira pessoa bastante fluida. O facto do utilizador usar uma aplicação dedicada à exploração e navegação do modelo, faz com que este não necessite de conhecer outros softwares. No entanto tem o inconveniente de obrigar a que o modelo seja exportado a partir do ArchiCAD, limitando a escolha dos softwares de modelação da equipa projetista do modelo. As interações do utilizador com o modelo são também limitadas. O utilizador pode apenas consultar parte da informação BIM que o elemento contém e as portas do modelo são apenas barreiras visuais para o utilizador. Desta forma o utilizador pode atravessar as portas sem que haja colisões e impedimentos entre a porta e o utilizador. Este facto faz com que a navegação do utilizador se torne menos realista do se seria desejável. A limitação do uso da aplicação para ações de exploração e navegação do modelo faz com que esta solução seja uma desvantagem em relação às soluções Stingray e Unity 3D.

A solução do Stingray por sua vez apresenta um bom resultado na renderização do ambiente e permite a implementação de diversas interações entre o modelo e o utilizador. No entanto a necessidade do modelo passar por quatro ferramentas para gerar o ambiente virtual navegável por qualquer utilizador torna a solução dissuasora dos utilizadores menos experientes. A utilização de quatro softwares distintos obriga a um enorme esforço para obter um ambiente virtual renderizado, com interações implementadas e que seja navegável por qualquer utilizador. Para além do esforço, a solução do Stingray obriga a que os utilizadores adquiram licenças dispendiosas e

Aplicação a caso de estudo

que tenham conhecimentos sobre o funcionamento dos quatro softwares. Outro inconveniente é a dependência dos softwares da Autodesk que para manter a informação BIM dos elementos o que, há semelhança da solução BIMx, limita a escolha dos softwares de modelação da equipa projetista do modelo.

Por sua vez, a solução proposta neste trabalho e que foi implementada no caso de estudo do Unity 3D, permite que a equipa projetista do modelo escolha as suas próprias ferramentas de modelação BIM, desde que estas implementem a solução proposta. O software de edição do ambiente virtual fica também ao critério do utilizadores. Desta forma a solução promove a interoperabilidade entre softwares, algo que a indústria da AEC valoriza bastante nos software BIM. O resultado da renderização do ambiente não é tão bom como a renderização da solução do Stingray mas é aceitável. Contudo, o esforço necessário para gerar o ambiente virtual é bastante inferior ao esforço requerido pela solução do Stingray, pelo que torna a solução mais apelativa para os utilizadores. Já a nível de expansibilidade a solução proporciona a possibilidade de integrar com sistemas simuladores e multi-agentes à semelhança do Stingray. Este fator torna-se uma vantagem em relação à solução do BIMx, que apresenta uma renderização do ambiente semelhante à solução do Unity 3D.

Em resumo, a solução proposta neste trabalho demonstra ser uma solução bastante completa pois consegue atingir resultados semelhantes às restantes soluções ao mesmo tempo que colmata várias limitações e entraves das mesmas.

A solução proposta promove a interoperabilidade entre softwares, algo que não se verifica nas restantes soluções. Permite a criação de ambientes virtuais multi-plataforma com renderização aceitável e onde o utilizador pode interagir de forma realista com o modelo à medida que navega e explora o ambiente. Possui também um conjunto de rotinas implementadas que facilitam e reduzem o esforço necessário pelo utilizador na criação do ambiente virtual. Desta forma a solução prova ser uma boa alternativa às soluções existentes.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

6.1 Principais conclusões

O presente trabalho, desenvolvido no âmbito da dissertação de Mestrado em Engenharia Informática e Computação, consistiu em explorar a conciliação das áreas de Engenharia Informática e Arquitetura, Engenharia e Construção, mais concretamente a área de jogos de simulação e a área de BIM.

Conforme referido nos capítulos 1 e 2, o conceito BIM tem sido cada vez mais adotado por diversos países a nível mundial. Este crescimento tem promovido o desenvolvimento de ferramentas informáticas para suportar este conceito e ao mesmo tempo facilitar o trabalho dos projetistas, levando a que os edifícios apresentem formas únicas e cada vez mais complexas. Este aumento de complexidade reflete-se numa maior dificuldade de análise do modelo do edifício. Por isso, as casas de software procuram integrar nos seus produtos ferramentas que ajudem os projetistas a visualizar e explorar o modelo do edifício ou a criar novos softwares para ajudar a deteção erros no projeto. No entanto, neste trabalho demonstrou-se que a usabilidade dessas ferramentas carecem de melhorias no sentido de promover aos utilizadores melhores experiências de utilização. A solução desenvolvida neste trabalho conseguiu colmatar várias limitações e desvantagens que as ferramentas analisadas apresentaram. Desta forma é possível criar um ambiente virtual e interativo onde o utilizador pode explorar e interagir com o modelo. O ambiente é obtido a partir do modelo BIM do edifício independentemente do software BIM utilizado na conceção do modelo, algo que não se verifica nas restantes soluções analisadas.

Relativamente à área dos jogos de simulação, conforme referido nos capítulos 1 e 3, a criação de ambientes virtuais *indoor* é uma tarefa dispendiosa no desenvolvimento de jogos de simulação. Embora o número de projetos relacionados com jogos de simulação *indoor* tenha vindo a aumentar, geralmente os cenários dos jogos são criados de raiz e o resultado fica um pouco aquém do

esperado. Com este trabalho, o esforço despendido na criação de cenários de jogos de simulação é reduzido através de um conjunto de rotinas implementadas que permitem a agilização das tarefas manuais associadas a erros de exportação do modelo. A ligação do motor de jogo ao software BIM, permite também importar para o jogo informação dos elementos para o jogo, tornando-o mais realista.

Em resumo, a solução resultante deste trabalho comprova que a integração do BIM nos jogos de simulação contribui para um desenvolvimento de ambientes virtuais realistas. Os criadores vêem reduzido o esforço de criação de ambientes virtuais realistas ao mesmo tempo que estes ficam mais ricos com informação dos materiais aplicados no modelo. Desta forma os objetos de jogo passam a conter informação real sobre as propriedades dos materiais que os constituem e como resultado é possível definir comportamentos também mais realistas. Por sua vez, a integração de jogos de simulação no BIM contribui para uma melhor navegação e exploração do edifício, ao mesmo tempo que se tira proveito do potencial dos jogos de simulação para apoiar as tomadas de decisão da equipa projetista do edifício e dos restantes intervenientes, através de simulações e análises efetuadas nos jogos de simulação.

Por fim podemos concluir que existe benefício mutuo na integração do BIM nos jogos de simulação e os jogos de simulação no BIM.

6.2 Contributo científico, tecnológico e aplicacional

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foram tidos em consideração três aspetos fundamentais para o desenvolvimento de um projeto de investigação. São eles o contributo científico, o contributo tecnológico e o contributo aplicacional. Desta forma procurou-se desenvolver uma solução que fosse de encontro aos objetivos propostos inicialmente e ao mesmo tempo que conseguisse contribuir para o desenvolvimento destes três aspetos.

Contributo Científico

Assim no capítulo 2 foi apresentado o conceito BIM e referidas algumas limitações que serviram de motivação para a definição dos objetivos deste trabalho. Pelos resultados obtidos no trabalho pode-se concluir que este contributo foi atingido dado que a solução contribui para a melhoria do processo de criação de ambientes virtuais interativos e realistas. Para suportar este fundamento foi aprovado o resumo de um artigo que será submetido no 1º congresso português de Building Information Modelling e que aguardo o resultado da submissão.

Contributo Tecnológico

Este trabalho teve como resultado tecnológico um *Add-in* para o Autodesk Revit® e um conjunto de *scripts* para integrar em projetos de Unity 3D. Resulta também deste trabalho um proto-

colo de mensagens para que outros softwares BIM e outros motores de jogos possam desenvolver as suas extensões. Desta forma, a solução desenvolvida procura dotar os softwares BIM e motores de jogo de extensões de forma a promover a interoperabilidade entre os softwares, seguindo a arquitetura lógica de Cliente-Servidor apresentada no capítulo 4.

Contributo Aplicacional

A aplicabilidade da solução no conceito BIM teve como principal foco a criação de ambientes virtuais onde o utilizador possa navegar pelo modelo edifício ao mesmo tempo que vai tendo uma perceção do resultado final do edifício. Esta aplicação pode ter uma finalidade comercial no sentido em que o projetista pretende apresentar ao cliente o resultado esperado do edifício. Mesmo que o cliente não possua conhecimentos de arquitetura ou engenharia, ao navegar pelo modelo tridimensional do edifício ainda em projeto consegue ter uma perceção muito boa do edifício e assim sugerir possíveis alterações ao projeto de forma evitar descontentamentos. Pelo lado dos jogos de simulação a aplicabilidade da solução teve como fundamento a agilização do processo de modelação de cenários de jogos realistas.

6.3 Trabalho Futuro

Conforme referido no capítulo 4 a solução desenvolvida e implementada neste trabalho constitui uma parte da solução idealizada. Embora os resultados obtidos neste trabalho tenham sido satisfatórios, este trabalho serviu para identificar as diversas dificuldades que embora tenham sido ultrapassar merecem ainda um aprofundamento no sentido de melhorar os resultados obtidos. Assim reúne-se os trabalhos futuros em três grupos: Interoperabilidade, Plataforma Open Data e Jogos BIM.

Interoperabilidade

Uma das principais dificuldades sentidas no desenvolvimento consistiu na implementação da arquitetura Cliente-Servidor SOAP através de *Web Services* da WCF. Por questões de calendarização não foi possível aprofundar melhor esta questão, lavando a que a comunicação entre os cliente fosse efetuada através de *sockets*. Assim um dos possíveis trabalhos futuros seria a implementação da arquitetura SOAP. Desta forma a implementação da solução noutros softwares tornar-se-á mais simples de realizar, refletindo-se numa maior adoção da solução por parte da industria.

Por seu lado, a industria AEC tem desenvolvido grandes esforços para promover a padronização do modelo de dados IFC no sentido de garantir a interoperabilidade entre software. Desta forma é esperado que não ocorram perdas de informação quando o modelo é utilizado em softwares de casas diferentes. Contudo as casas de software tendem a continuar a usar os seus próprios modelos de dados e como consequência limitam a informação que é convertida para o formato

IFC, como é o caso das texturas de materiais. Neste sentido, um trabalho futuro passa por conciliar o modelo de dados IFC com as restantes áreas procurando principalmente homogeneizar a estrutura de dados da geometria dos elementos e os materiais.

Open Data Platform

No capítulo 4 é referida a decomposição da implementação da arquitetura idealizada em duas fases. A primeira fase consistiu no desenvolvimento deste trabalho e a segunda fase consiste no desenvolvimento e implementação de uma plataforma Open Data. Esta plataforma consiste em dissociar o modelo do edifício dos softwares BIM integrando numa base de dados relacional o modelo de dados IFC. Neste sentido a plataforma funcionaria como repositório de elementos BIM ao mesmo tempo que poderia ser utilizada como uma plataforma colaborativa durante a conceção do projeto do edifício. Por sua vez, a plataforma serviria também de biblioteca de materiais com as suas propriedades físicas e aparência. Assim tanto os arquitetos e engenheiros tinham acesso a um conjunto de materiais que poderiam incluir nos seus modelos BIM. Da mesma forma os criadores de jogos tinham também acesso a um conjunto de materiais com as suas características reais e como tal poderiam implementar comportamentos mais realistas nos seus jogos.

Jogos BIM

Outra área que pode servir de base para futuros trabalhos consiste no desenvolvimento de jogos de simulação que se adequem às diversas fases de conceção do projeto. Desta forma, à medida que o projeto do edifício vai evoluindo e o nível de desenvolvimento dos elementos vai aumentando, a equipa projetista poderá utilizar diferentes tipos de jogos para analisar e avaliar o desempenho do edifício. Assim, numa primeira fase da conceção do projeto é possível disponibilizar um ambiente virtual para que o dono do projeto possam validar os espaços definidos. Posteriormente, já com os materiais dos elementos já definidos, e a respetiva informação do comportamento ao fogo dos próprios materiais, o edifício poderá ser submetido a simulação de incêndio no sentido de avaliar a performance de evacuação do edifício. Seria também interessante analisar qual o resultado da evolução do fogo tendo em conta uma determinada combinação de materiais. Desta forma, seria possível ajustar o treino de equipas de bombeiros de forma a aproximar as condições de treino às condições reais sem que corram risco de vida.

Seguindo a direção dos vídeo jogos uma abordagem interessante seria a extensão dos jogos para a Realidade Virtual. Neste contexto o foco seria avaliar o impacto do modelo na pessoa, através da análise de expressões comportamentais e indicadores sensoriais dessa pessoa.

Referências

- [AGR⁺13] P. R. J. A. Alves, J. Gonçalves, R. J. F. Rossetti, E. C. Oliveira e C. Olaverri-Monreal. Forward collision warning systems using heads-up displays: Testing usability of two new metaphors. In *Intelligent Vehicles Symposium Workshops (IV Workshops), 2013 IEEE*, pages 1–6, June 2013.
- [ARC11] João E Almeida, Rosaldo JF Rossetti e António Leça Coelho. Crowd simulation modeling applied to emergency and evacuation simulations using multi-agent systems. In A. A. Sousa e E. Oliveira, editors, *6th Doctoral Symposium on Informatics Engineering (DSIE'11)*. FEUP, 2011.
- [ARC15] João Emílio Almeida, Rosaldo J. F. Rossetti e António Leça Coelho. Jogos sérios para treino do comportamento humano e gestão do risco em edifícios antigos. In *1º Congresso da Reabilitação e SCIE*. Ordem dos Arquitetos, Nov. 2015.
- [AsB13] GTBIM Grupo Técnico BIM AsBEA. Guia asbea boas práticas em bim. Guide, Associação Brasileira de Escritório de Arquitetura, Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil, 2013.
- [ba15] buildingSMART alliance. National bim standard -united states. Standar, National Institute of BUILDING SCIENCES, 2015.
- [bIL] buildingSMART International Ltd. buildingsmart international home of openbim. URL: <http://www.buildingsmart-tech.org>.
- [BP11] Bernard K Baiden e Andrew DF Price. The effect of integration on project delivery team effectiveness. *International Journal of Project Management*, 29(2):129–136, 2011.
- [CCRA11] Elisabete Cordeiro, António Leça Coelho, Rosaldo JF Rossetti e João Emílio Almeida. Human behavior under fire situations—portuguese population. In *2011 Fire and Evacuation Modeling Technical Conference*, 2011.
- [Cha14] BuildingSMART Spanish Chapter. Guía do usuário bim. Guide, BuildingSMART Spanish Chapter, 2014.
- [Cla70] C Abt Clark. Serious games, 1970.
- [Coe13] José Fernando Silva; João Emílio Almeida; Rosaldo JF Rossetti; António Leça Coelho. A serious game for evacuation training. In *Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 2013 IEEE 2nd International Conference on*, pages 1–6. IEEE, 2013.

REFERÊNCIAS

- [DF06] Sara I De Freitas. Using games and simulations for supporting learning. *Learning, media and technology*, 31(4):343–358, 2006.
- [dS10] Pedro Amorim Brandão da Silva. *Modelação procedimental para desenvolvimento de jogos de computador*. Dissertação, 2010.
- [EET⁺11] Chuck Eastman, Charles M Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks e Kathleen Liston. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons, 2011.
- [FifRoBD13] Urban Affairs Federal Institute for Research on Building e Spatial Development. *Bim-guide for germany information und guidebook*. Guide, Federal Ministry for Transport, Building and Urban Affairs, 2013.
- [GROM12] J. Gonçalves, R. J. F. Rossetti e C. Olaverri-Monreal. Ic-deep: A serious games based application to assess the ergonomics of in-vehicle information systems. In *2012 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pages 1809–1814, Sept 2012.
- [HFMV02] Dirk Helbing, Illes J Farkas, Peter Molnar e Tamás Vicsek. Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations. *Pedestrian and evacuation dynamics*, 21(2):21–58, 2002.
- [HMF01] Dirk Helbing, Peter Molnar, Illes J Farkas e Kai Bolay. Self-organizing pedestrian movement. *Environment and planning B: planning and design*, 28(3):361–383, 2001.
- [INS13] THE BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. Standard PAS 1192-2:2013, The British Standards Institution, 2013.
- [KGD09] RA Kady, S Gwynne e JA Davis. Review of the sources of occupant performance data used in building evacuation models. In *Human Behaviour Fire Symposium*, 2009.
- [KM04] John Kirriemuir e Angela McFarlane. Literature review in games and learning. 2004.
- [KPH05] Erica D Kuligowski, Richard D Peacock e Bryan L Hoskins. *A review of building evacuation models*. US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD, 2005.
- [LABL07] Christian Sebastian Loh, Arnond Anantachai, JaeHwan Byun e Joe Lenox. Assessing what players learned in serious games: in situ data collection, information trails, and quantitative analysis. In *10th International Conference on Computer Games: AI, Animation, Mobile, Educational & Serious Games (CGAMES 2007)*, pages 25–28, 2007.
- [Lip09] R Lipman. Details of the mapping between the cis/2 and ifc product data models for structural steel. *ITcon*, 14(1):1–13, 2009.
- [lod15] Level of development specification for building information models, 2015.

REFERÊNCIAS

- [LR03] Robert R Lipman e Kent A Reed. Visualization of structural steel product models. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 8:43–50, 2003.
- [MC05] David R Michael e Sandra L Chen. *Serious games: Games that educate, train, and inform*. Muska & Lipman/Premier-Trade, 2005.
- [MKF⁺14] Hermann Mayer, Wolfram Klein, Christian Frey, Simon Daum, Peter Kielar e André Borrmann. Pedestrian simulation based on bim data. ASHRAE/IBPSA-USA Building Simulation Conference, 2014.
- [oBS] National Institute of Building Sciences. Frequently asked questions about the national bim standard-united statesTM. URL: <https://www.nationalbimstandard.org/faqs#faq1>.
- [pro14] COBIM project. Common bim requirements 2012. Guide, The Building Information Foundation RTS, 2014.
- [RA09] U Rüssel e P Abolghasemzadeh. Bim-based immersive evacuation simulations. In *18th International Conference on the Application of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering (IKM 2009)*, 2009.
- [RAKG13] R. J. F. Rossetti, J. E. Almeida, Z. Kokkinogenis e J. Gonçalves. Playing transportation seriously: Applications of serious games to artificial transportation systems. *IEEE Intelligent Systems*, 28(4):107–112, July 2013.
- [RAR⁺12a] J. Ribeiro, J. E. Almeida, R. J. F. Rossetti, A. Coelho e A. L. Coelho. Using serious games to train evacuation behaviour. In *Information Systems and Technologies (CISTI), 2012 7th Iberian Conference on*, pages 1–6. IEEE, June 2012.
- [RAR⁺12b] J Ribeiro, J. E. Almeida, R. J. F. Rossetti, António Coelho e A. Leça Coelho. Towards a serious games evacuation simulator. In *26th European Conference on Modelling and Simulation (ECMS 2012), Koblenz, Germany, 29 May - 1 June 2012*, pages 697–702. ECMS, 2012.
- [RS11] Uwe Rüssel e Kristian Schatz. Designing a bim-based serious game for fire safety evacuation simulations. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4):600–611, 2011.
- [SAP⁺13] José Fernando M Silva, João Emílio Almeida, António Pereira, Rosaldo JF Rossetti e António Leça Coelho. Preliminary experiments with eva-serious games virtual fire drill simulator. In *27th European Conference on Modelling and Simulation (ECMS2013)*, 2013.
- [SARC13] José Fernando Silva, João Emílio Almeida, Rosaldo JF Rossetti e António Leça Coelho. Gamifying evacuation drills. In *2013 8th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, pages 1–6. IEEE, 2013.
- [Sta13] Statsbygg. Statsbygg bim manual 1.2.1. Manual, Statsbygg, 2013.
- [Stu08] Uwe Rueppel; Kai Marcus Stuebbe. Bim-based indoor-emergency-navigation-system for complex buildings. *Tsinghua Science & Technology*, 13:362–367, 2008.
- [UAR15] J. Ulisses, J. E. Almeida e R. J. F. Rossetti. RAIN in indoor rescue training. In *2015 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, pages 1–6, June 2015.

REFERÊNCIAS

- [Ven15] Maria João Lima Venâncio. *Avaliação da Implementação de Bim - Building Information Modeling em Portugal*. Thesis, 2015.
- [Wan15] Gareth Edwards; Haijiang Li; Bin Wang. Bim based collaborative and interactive design process using computer game engine for general end-users. *Visualization in Engineering*, 3(1):1, 2015.
- [WHB⁺07] Werner Wirth, Tilo Hartmann, Saskia Böcking, Peter Vorderer, Christoph Klimmt, Holger Schramm, Timo Saari, Jari Laarni, Niklas Ravaja, Feliz Ribeiro Gouveia et al. A process model of the formation of spatial presence experiences. *Media psychology*, 9(3):493–525, 2007.
- [Woo12] Sixuan Wang; Michael Van Schyndel; Gabriel Wainer; Vinu Subashini Rajus; Robert Woodbury. Devs-based building information modeling and simulation for emergency evacuation. In *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)*, pages 1–12. IEEE, 2012.
- [Wor13] BIM Guide Workgroup. Singapore bim guide. Guide, Building and Construction Authority, BIM Steering Committee, 2013.
- [YCG11] Wei Yan, Charles Culp e Robert Graf. Integrating bim and gaming for real-time interactive architectural visualization. *Automation in Construction*, 20(4):446–458, 2011.