

PEDRO MIGUEL PIRES CARDOSO

**REALIDADE VIRTUAL:
UM CONTRIBUTO PARA A ARQUITETURA**

Orientador: Pedro Filipe Coutinho Cabral D'Oliveira Quaresma

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias
Escola de Comunicação, Arquitetura, Artes e Tecnologias de Informação

Lisboa

2017

PEDRO MIGUEL PIRES CARDOSO

**REALIDADE VIRTUAL:
UM CONTRIBUTO PARA A ARQUITETURA**

Dissertação defendida em provas públicas na Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, no dia 14 de dezembro de 2017, perante o júri nomeado pelo Despacho de Nomeação nº339/2017, de 23 de outubro, com a seguinte composição:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Carlos Bobone Ressano Garcia [ULHT]

Arguente: Prof.^a Doutora Sara Eloy Cardoso Rodrigues [ISCTE]

Orientador: Prof. Doutor Pedro Filipe Coutinho Cabral d'Oliveira Quaresma [ULHT]

Vogal: Prof. Doutor João Filipe Ribeiro Borges da Cunha [ULHT]

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias
Escola de Comunicação, Arquitetura, Artes e Tecnologias de Informação

Lisboa

2017

Agradecimentos

Começo por agradecer do fundo do coração à minha família, começando pelos meus pais, Francisco Cardoso e Maria Eugénia Cardoso, que sempre me apoiaram nos bons e maus momentos e que sem a ajuda deles nunca teria conseguido alcançar este grande objetivo na minha vida, ser arquiteto. Ao meu irmão Daniel Cardoso que comprovou que os sonhos são possíveis de se concretizar. Aos meus avós que tiveram sempre uma palavra amiga para me consolar e apoiar. Ao meu Tio Luís que me mostrou que a simplicidade na vida também pode trazer felicidade.

Um agradecimento especial à minha namorada Patrícia Ferreira que me mostrou que independentemente da idade e das dificuldades, com força de vontade e empenho conseguimos alcançar os nossos objetivos. Foste uma inspiração para mim e mostraste-me que com dedicação conseguimos fazer tudo.

De seguida um forte agradecimento ao orientador desta dissertação, o professor Pedro Filipe Quaresma, por me ter encaminhado durante todo este tempo sem nunca desistir de mim, sempre mostrando um grande interesse no valor da minha dissertação e uma grande vontade em me ajudar no melhor caminho.

Agradeço também a todos os professores, colegas e amigos de faculdade que me acompanharam durante todo este percurso académico e me mostraram novas maneiras de ver a arquitetura, especialmente a minha colega Ana Mendes que desde o primeiro dia sempre ficou ao meu lado e espero poder acompanhar o sucesso dela o resto da minha vida.

Por fim um grande agradecimento a todas as pessoas que me apoiaram, aturaram e ajudaram durante todo este percurso, tornando-me numa melhor pessoa e num melhor arquiteto. Um agradecimento especial ao Eduardo Castro e Costa e ao Daniel Mateus por me terem permitido visitar o Laboratório de Realidade Virtual, à Professora Sara Eloy por me ter aberto a porta do Laboratórios do Centro de Investigação em Ciências da Informação, Tecnologias e Arquitetura e por fim ao Rui de Klerk por me ter convidado a participar no *workshop* organizado pelo INESC-ID.

Resumo

A arquitetura e a tecnologia sempre estiveram relacionadas, tanto ao nível das ferramentas de conceção, representação, como na construção do edificado. A Realidade Virtual (RV) é uma tecnologia emergente aplicada à produção da arquitetura, podendo trazer ganhos na comunicação do projeto não só aos clientes, mas também aos diferentes intervenientes no processo relativo à arquitetura. Esta tecnologia pode ser usada em várias fases de projeto, desde o projeto base até a uma fase mais avançada do projeto de execução, mostrando detalhes dos elementos a aplicar em obra, não só construtivos, mas também o próprio mobiliário, simulações de luz, relações visuais entre os espaços interiores e exteriores do proposto, entre outros aspetos, que podem em muito facilitar a comunicação com o cliente, de modo a melhor responder às suas necessidades e ambições. É possível mostrar um produto final muito próximo do real que permite tanto ao cliente como ao dono da obra experimentar o espaço proposto.

Esta dissertação foca-se no uso da RV na arquitetura levantando um conjunto de questões como: o que é a RV? Quais os desenvolvimentos atuais da RV no meio académico arquitetónico português? Como será desenvolver um projeto de arquitetura em RV? Quais as vantagens do uso da RV na arquitetura?

De modo a melhor responder a estas questões, esta dissertação está dividida em 5 capítulos: no primeiro capítulo é feita uma breve introdução à temática desta dissertação; no segundo capítulo faz-se uma síntese sobre a RV, que equipamentos são necessários e em que contextos pode ser usada; o terceiro capítulo foca algumas aplicações desta tecnologia no meio académico em Portugal; o quarto capítulo fala sobre a experiência de usar a RV na criação de um projeto de arquitetura; por fim o quinto capítulo é dedicado às conclusões da dissertação.

Palavras-Chave: Realidade Virtual; Realidade Imersiva; Projeto de arquitetura.

Abstract

Architecture and technology have always been related, not only in their tools of conception and representation but also in the construction. Virtual Reality (VR) is an emerging technology that can be applied to the production of architecture, bringing benefits in communication between the client and everyone involved in its related process. This technology can be used during any stage of the project, starting from its inception and still being present until the later stage of project execution, showing every element detail, not only related to construction but also related to interior design, furniture, light simulations, visual connection between indoor and outdoor spaces and more, which can all aid in communication with the client in order to better suit its needs and expectations. It makes it possible to show a very comprehensive and realistic simulation that allows both the client and the project developer to understand the proposed project.

This work focuses on the use of VR in architecture, raising a bundle of questions such as: What is VR? What are VR's current developments within the Portuguese academic architecture studies? How can one develop an architectural project in VR? What are the advantages of RV in architecture?

To better answer these questions, this work is divided in five chapters: During the first chapter there's a brief introduction to this essay's subject; during the second chapter there's a brief explanation about VR, what sort of equipment does it need and how it can be used; the third chapter is focused some of the ways to apply this technology within the Portuguese academic studies; the fourth chapter relates to the experience of using VR in the creation of an architecture project; And last but not least, the fifth chapter is dedicated to the conclusion of this work.

Keywords: Virtual Reality; Immersive Reality; Architecture projects.

Índice

Introdução	10
Objeto de estudo	10
Problemática	11
Objetivo da Dissertação	11
Metodologia	12
Descrição da organização da Dissertação	12
1. Realidade Virtual	13
1.1. Contextualização Histórica	15
1.2. Equipamentos utilizados na Realidade Virtual	18
1.3. Realidade Virtual Imersiva	22
1.4. Aplicações da Realidade Virtual	23
2. Investigação em Realidade Virtual no meio académico.	25
2.1. FAUL – Laboratório de Realidade Virtual	25
2.2. ISTAR IUL – Digital Living Space	30
2.3. Tecton3D – Realidade Virtual na modelação conceptual em Arquitetura	34
3. Experiência em Realidade Virtual	39
3.1 Escolha do programa <i>Unity</i> ou <i>Unreal Engine</i>	41
3.2. Criação do modelo para Realidade Virtual	42
3.3. Resultado Final	47
Conclusão	57
Bibliografia	60

Índice de imagens

Figura 1 – Kyle Fowle (2015). Equipamento de salão de jogos. Acedido em maio de 2017, em: <https://killscreen.com/articles/failure-launch/>

Figura 2 – Jose Casimiro (2012). Visor estereoscópico 2ª metade do século XIX. Acedido em maio de 2017, em: <https://www.flickr.com/photos/jrcasimiro/8091433984>

Figura 3 – Handige Harrie (2007). Visor estereoscópico de 1962. Acedido em maio de 2017, em: https://en.wikipedia.org/wiki/View-Master_factory_supply_well

Figura 4 – Alex Donne (2015). Head Mounted Display. Acedido em maio de 2017, em: <https://www.linkedin.com/pulse/virtual-reality-before-oculus-damocleas-alex-donne-johnson>

Figura 5 – Myron Krueger (1970). Videoplace. Acedido em maio de 2017, em: http://tudosobrevr.blogspot.pt/2012_01_01_archive.html

Figura 6 – Paul James (2016). Óculos Htc Vive. Acedido em maio de 2017, em: <http://www.roadtovr.com/htc-vive-review-room-scale-vr-mesmerising-vr-especially-if-you-have-the-space-steamvr/>

Figura 7 – Deepak Singh (2015). Google Cardboard. Acedido em maio de 2017, em: <https://gadgetstouse.com/featured/all-about-google-cardboard/36571>

Figura 8 – Technobyte (2017). Sistema CAVE. Acedido em junho de 2017, em: <https://i0.wp.com/www.technobyte.org/wp-content/uploads/2016/03/CAVE-Cave-Automatic-Virtual-Environment.jpg>

Figura 9 – Oculus Rift (2010). Equipamento RV imersivo: óculos, auriculares e comandos. Acedido em junho de 2017, em: <https://www.kitguru.net/components/graphic-cards/anton-shilov/founder-of-oculus-vr-for-now-virtual-reality-gaming-is-for-hardcore-gamers-only/>

Figura 10 – Pedro Cardoso (2016). Kinect. Acedido em junho de 2017.

Figura 11 – Pedro Cardoso (2016). Televisão 3D sensível ao toque. Acedido em junho de 2017.

Figura 12 – Pedro Cardoso (2016). Programa criado para projeto Alberti Digital. Acedido em junho de 2017.

Figura 13 – Pedro Cardoso (2016). Mesa de Realidade Aumentada. Acedido em junho de 2017.

Figura 14 – Pedro Cardoso (2016). Modelo 3D com óculos anáglifos. Acedido em junho de 2017.

Figura 15 – LRV (2016). AirSketching. Acedido em junho de 2017, em: <http://lr.v.f.a.ulisboa.pt/index.php/ambientes-de-imersao/air-sketching>

Figura 16 – ISTAR-IUL (2016). ARCH. Acedido em junho de 2017, em: <http://istar.iscte-iul.pt/index.php/VAR#planet>

Figura 17 – ISTAR-IUL (2016). Dispositivos de navegação. Acedido em junho de 2017, em: Visualização e interação em realidade virtual imersiva: Modos de Visualização para arquitetura sistema VIARModes

Figura 18 – ISTAR-IUL (2016). Modo layers. Acedido em junho de 2017, em: Visualização e interação em realidade virtual imersiva: Modos de Visualização para arquitetura sistema VIARModes

Figura 19 – ISTAR-IUL (2016). Modo superfícies sombreadas. Acedido em junho de 2017, em: Visualização e interação em realidade virtual imersiva: Modos de Visualização para arquitetura sistema VIARModes

Figura 20 – ISTAR-IUL (2016). Modo realístico. Acedido em junho de 2017, em: Visualização e interação em realidade virtual imersiva: Modos de Visualização para arquitetura sistema VIARModes

Figura 21 – ISTAR-IUL (2016). Conferencia sobre o Tecton 3D. Acedido em junho de 2017, em: Visualização e interação em realidade virtual imersiva: Modos de Visualização para arquitetura sistema VIARModes

Figura 22 – ISTAR-IUL (2016). Protótipo Maquetteer. Acedido em junho de 2017, em: Visualização e interação em realidade virtual imersiva: Modos de Visualização para arquitetura sistema VIARModes

Figura 23 – ISTAR-IUL (2016). Samsung Gear VR. Acedido em junho de 2017, em: Visualização e interação em realidade virtual imersiva: Modos de Visualização para arquitetura sistema VIARModes

Figura 24 – Pedro Cardoso (2016). Protótipo Maquetteer com 4 utilizadores. Acedido em junho de 2017

Figura 25 – Gadgets360, (2016). Smartphone Oneplus 3T. Acedido em setembro de 2017, em: <http://gadgets.ndtv.com/oneplus-3t-3883>

Figura 26 – bdselling, (2016). Óculos Shinecon + comando. Acedido em julho de 2017, em: <http://www.bdselling.com/vr-box-shinecon-with-vr-remote-controller>

Figura 27 – Sykoo, (2017). *Unity vs Unreal Engine*. Acedido em julho de 2017, em: <https://www.youtube.com/watch?v=Hr5IOEQI7eg>

Figura 28 – Pedro Cardoso, (2017). Programa Trinus VR. Acedido em julho de 2017

Figura 29 – Pinterest, (2017). Grasshopper. Acedido em julho de 2017, em: <https://www.pinterest.pt/pin/566046246898367524/>

Figura 30 – *Unreal Engine*, (2017). Blueprint. Acedido em julho de 2017, em: <https://docs.UnrealEngine.com/latest/INT/Engine/Blueprints/UserGuide/Functions/>

Figura 31 – Pedro Cardoso, (2017). Programação do movimento. Acedido em julho de 2017

Figura 32 – Aliexpress, (2017). Comando sem fios Gamesir G4s. Acedido em junho de 2017, em:
https://pt.aliexpress.com/store/product/GameSir-G4s-2-4Ghz-Wireless-Bluetooth-Gamepad-Controller-for-Android-TV-BOX-Smartphone-Tablet-PC-VR/1948940_32702895546.html

Figura 33 – Pedro Cardoso, (2017). Programação da disposição solar. Acedido em agosto de 2017

Figura 34 – Pedro Cardoso, (2017). Mini mapa no canto superior direito. Acedido em setembro de 2017

Figura 35 – Pedro Cardoso, (2017). Ecrã do computador. Acedido em setembro de 2017

Figura 36 – Pedro Cardoso, (2017). Ecrã do smartphone. Acedido em setembro de 2017

Figura 37 – Pedro Cardoso, (2017). Perspetiva do interior do projeto. Acedido em setembro de 2017

Figura 38 – Pedro Cardoso, (2017). Perspetiva do interior do projeto. Acedido em setembro de 2017

Figura 39 – Pedro Cardoso, (2017). Perspetiva do exterior do projeto. Acedido em setembro de 2017

Figura 40 – Pedro Cardoso, (2017). Utilizador sentado. Acedido em setembro de 2017

Figura 41 – Pedro Cardoso, (2017). Utilizador em pé. Acedido em setembro de 2017

Figura 42 – Pedro Cardoso, (2017). Equipamento necessário. Acedido em setembro de 2017

Figura 43 – Pedro Cardoso, (2017). Planta piso térreo. Acedido em setembro de 2017

Figura 44 – Pedro Cardoso, (2017). Planta piso 1. Acedido em setembro de 2017

Figura 45 – Pedro Cardoso, (2017). Alçado poente. Acedido em setembro de 2017

Figura 46 – Pedro Cardoso, (2017). Corte alçado nascente. Acedido em setembro de 2017

Figura 47 – Pedro Cardoso, (2017). Corte alçado sul. Acedido em setembro de 2017

Figura 48 – Pedro Cardoso, (2017). Perspetiva aérea do projeto. Acedido em setembro de 2017

Introdução

Objeto de estudo

A representação de um projeto de arquitetura sempre foi uma questão importante para os arquitetos e engenheiros. Conseguir transmitir a sua ideia, principalmente para um público fora do meio da arquitetura, torna-se por vezes uma tarefa difícil. A observação de toda a informação de um projeto a partir de uma representação bidimensional exige uma grande habilidade e destreza por parte do autor do projeto, mas também exige algum conhecimento técnico e imaginação por parte de quem o interpreta. A falta de compreensão e entendimento entre clientes e profissionais do ramo imobiliário é igualmente um potencial problema quando se procura vender um projeto.

Sempre houve limitações na representação de um projeto arquitetónico devido aos instrumentos disponíveis, dificultando assim a sua compreensão. É indispensável que a transmissão das ideias do arquiteto seja compreendida principalmente pelo cliente, mas também pela equipa que dá apoio ao projeto, bem como por aquela que o irá executar. Com base nestas observações, é necessário procurar novos instrumentos de desenvolvimento e representação dos projetos e facilitar a comunicação entre o arquiteto e o cliente, surgindo assim a aplicação da RV na arquitetura.

A RV, visto ser uma tecnologia emergente, é ainda pouco compreendida, não só no meio profissional, como também académico, fazendo com que o seu uso inapropriado possa criar julgamentos ambíguos acerca da sua aplicação em projeto. A falta de pesquisa nesta área, seja pela carência de investimento ou por desinteresse académico é um dos fatores responsáveis pela falta de divulgação de informação mais qualificada. Ao dar a conhecer esta tecnologia ela poder-se-á tornar cada vez mais uma ferramenta aplicada nas várias etapas de conceção e construção da arquitetura.

A RV surge como ferramenta auxiliadora tanto no desenvolvimento de um projeto de arquitetura como na apresentação e compreensão do mesmo. Através de sistemas de RV conseguimos obter uma economia tanto de tempo quanto financeira pois facilmente podemos detetar e prever erros na simulação de projetos.

Esta tecnologia oferece-nos também a possibilidade de desenvolver espaços inovadores visto ser possível manipular o edificado proposto em RV, produzindo espaços complexos que podem ser estudados tendo em conta as condições “simuladas” do real.

Devido ao número reduzido de pesquisas desenvolvidas nesta área pode-se tornar difícil a avaliação da aplicação desta tecnologia. Para melhor incentivar o uso da RV na área de arquitetura é necessário apresentar possíveis exemplos da aplicação desta tecnologia. É importante também desenvolver sugestões de aplicação para melhorias nos processos de desenvolvimento e apresentação. Assim, com o intuito de contribuir para um melhor entendimento da aplicação da RV em contexto arquitetónico será igualmente apresentado nesta dissertação um projeto de arquitetura em RV.

Problemática

Na elaboração de um projeto de arquitetura torna-se, por vezes, difícil conseguir transmitir uma ideia de modo objetivo e compreensível, sobretudo para um público não treinado na prática disciplinar arquitetónica. Por este motivo a realidade virtual tem se relevado como uma mais valia na visualização de um projeto de arquitetura, através da implementação de vários tipos de interatividade como subir e descer escadas, abrir e fechar portas, acender e apagar as luzes e controlar a disposição solar. Com este conjunto de funcionalidades é espetável que seja mais fácil a um publico alargado entender o resultado um projeto, mesmo que ainda na fase de conceção

Objetivo da Dissertação

Esta dissertação tem como objetivo criar uma experiência de vivência do espaço arquitetónico usando a tecnologia da realidade virtual, pressupondo que a mesma pode ser implementada não só em ateliers de arquitetura como também no ramo imobiliário.

Esta experiencia centra-se na criação de um modelo arquitetónico de uma moradia unifamiliar com três quartos aplicando técnicas de RV. Pretendeu-se compreender os custos e benefícios subjacentes ao desenvolvimento de um projeto de arquitetura e sua apresentação, potenciados pela introdução de alguma interatividade no modelo arquitetónico.

Metodologia

Inicialmente foi efetuado um enquadramento dos conhecimentos gerais em relação a RV, bem como a compilação sumária da evolução das ferramentas e hardwares utilizados. De seguida foi possível visitar diferentes laboratórios de referência a nível nacional e internacional, onde foi permitido efetuar um conjunto de experiências laboratoriais. Posteriormente foram executados vários ensaios com o objetivo de escolher os melhores e mais adequados softwares e hardwares para o desenvolvimento de um projeto de arquitetura de modo a usufruir da interatividade no modelo em RV.

Descrição da organização da Dissertação

A presente dissertação está organizada em 3 capítulos:

- No 1º capítulo explica-se o conceito de Realidade Virtual, a sua contextualização histórica, o tipo de equipamentos utilizados, a Realidade Virtual imersiva e as diferentes aplicações da Realidade Virtual.

- O 2º capítulo é dedicado à investigação da RV no meio académico arquitetónico atual onde é descrito o Laboratório de RV da FAUL, o ISTAR IUL com enfoque no projeto de investigação do laboratório de Realidade Virtual e por fim o projeto Tecton3D sobre o uso da RV na modelação conceptual em Arquitetura no INESC ID.

- No 3º capítulo é dada a conhecer a experiência desenvolvida que consiste na elaboração de um projeto de arquitetura de uma moradia em RV, na opção da escolha do programa *Unity* ou *Unreal Engine*, na criação do modelo para RV e no resultado final da experiência.

1. Realidade Virtual

A RV é uma representação da realidade através de equipamentos que reproduzem ambientes virtuais onde os sentidos são estimulados de maneira a tornar essa experiência virtual o mais real possível. Segundo Nicholas Negroponte (n. 1943) “a Realidade Virtual pode-se tornar tanto ou mais realista que o real” (Negroponte, 1996, p. 127).

O objetivo da RV é tornar a experiência virtual no mais real possível, como explica Negroponte, a simulação de voo é das mais antigas e mais sofisticadas simulações, pois quando os pilotos são postos à prova no simulador, o objetivo é criar todo o tipo de condições que poderiam acontecer na realidade para que se preparem e consigam resolver muitos dos problemas que possam aparecer durante um voo. (Negroponte, 1996, p. 127)

Assim, a ideia da RV é dar a sensação de que realmente estamos presentes na representação virtual, e com as novas evoluções neste ramo, é possível mudar o ponto de vista consoante os nossos olhos observam outros pontos, dando a percepção que estamos dentro desse mundo virtual. Um dos pontos fortes da RV é saber trabalhar com a profundidade, ou seja, é mais difícil sugerir o movimento virtualmente aos objetos que se situam longe do nosso campo de visão, mas os objetos que estão mais perto do campo de visão são os mais propícios a tal, daí que quando observamos um filme em 3D os movimentos que mais facilmente identificamos são os que estão mais próximos de nós. Para experimentarmos a RV é necessário usarmos uns óculos com dispositivos de visualização incorporados separadamente para cada olho, assim cada dispositivo transmite uma perspetiva da imagem que queremos ver ao mexer a cabeça para observar a envolvente. Os dispositivos mudam também automaticamente a perspetiva sempre que ocorre uma mudança da direção do olhar, dando assim, a sensação de estarmos dentro de um mundo virtual. (Negroponte, 1996, p. 128)

A RV surge em 1968 quando Ivan Sutherlands (n. 1938) constrói o primeiro sistema de visualização para ser montado na cabeça (HMD). De seguida, a NASA e o departamento de defesa dos Estados Unidos da América (DoD) aproveitam essa tecnologia criando protótipos dispendiosos para experimentar a exploração do espaço em RV, bem como aplicá-los para fins militares como um sistema de treino para tanques de guerra e submarinos. (Negroponte, 1996, p. 129)

Para a RV dar o próximo passo foi necessário observar vários utilizadores desta tecnologia, de modo a perceber que praticamente todos tinham o impulso de movimentar a cabeça com os óculos para ver alterações na imagem. No entanto à época ainda não tinha sido

possível criar essa combinação. Hoje em dia já é possível criar ambientes virtuais em que toda a informação é transmitida para os óculos da RV, deste modo conseguirmos ter um campo de observação de 360° com o movimento natural da cabeça, como se estivéssemos no mundo real. (Negroponte, 1996, pp. 130-131)

No início da década de 90, uma empresa denominada *Virtuality Group* começou a produzir sistemas de entretenimento de realidade virtual. Estes equipamentos dedicados à indústria dos jogos digitais eram colocados em salões de jogos (ver figura 1), sendo, deste modo disponibilizada esta tecnologia pela primeira vez a cidadãos comuns. Esta experiência não só permitia aos utilizadores terem uma experiência visual completamente diferente, mas também permitia o uso de equipamentos para interação com o modelo virtual. (Fowle, 2015)



Figura 1 – Equipamentos de salão de jogos

A visão é o sentido mais recetor que temos, é por isso que a RV é uma tecnologia muito poderosa, sendo possível manipular e alterar a perceção humana.

A ligação entre a visão e a RV é o ecrã, fazendo com que a qualidade dos mesmos seja muito importante. Hoje em dia já é possível ter ecrãs com qualidade superior à que os nossos olhos conseguem atingir, como tal é necessário explorar outros sentidos. Nicholas Negroponte

refere uma experiência feita em que havia duas salas com sistemas de ecrã, vídeo e cassete de alta qualidade idênticos, numa sala tinha equipado um sistema de som normal e na outra sala um sistema de som de alta qualidade. Quando os investigadores questionaram as pessoas sobre qual das salas tinha o ecrã de melhor qualidade todos responderam a sala onde o sistema de som era de alta qualidade, sabendo-se que os ecrãs eram iguais. Assim percebemos que tendemos a julgar as nossas experiências como um todo sensorial e não por partes. (Negroponte, 1996, pp. 136-137)

Sendo assim o objetivo geral da RV é não só estimular a visão, mas também outros sentidos. Através de auriculares conseguimos melhorar a experiência de RV juntando sons que coincidem com o que é transmitido no ecrã, assim teremos tanto a visão como a audição em simultâneo, tornando a experiência de RV mais completa. De salientar que é através da visão que a RV consegue captar maior atenção do utilizador, devendo notar-se que sendo as imagens geradas virtualmente, tudo pode ser possível, não existindo as limitações que existem no real, como Negroponte diz: “A Realidade Virtual vai-nos permitir abraçar a Via Láctea, nadar na corrente sanguínea humana ou visitar Alice no País das Maravilhas” (Negroponte, 1996, p.130).

1.1. Contextualização Histórica

A RV teve origem nos Estados Unidos com o desenvolvimento dos simuladores de voo, mas esta tecnologia surgiu através do desenvolvimento de outras tecnologias existentes. A lanterna mágica, no século XVII pode ser considerada como uma das primeiras intenções de projetar. Constituída por uma câmara escura com um conjunto de lentes no seu interior onde no meio existia um condensador, tinha uma entrada de luz de uma lâmpada de azeite que ao atravessar uma placa de vidro pintada projetava essa imagem num lençol (ecrã), sendo que essa projeção permitia criar a ilusão de movimento ao deslocar o vidro com as pinturas. (Amim, 2007, p. 5)

A tecnologia seguinte é o diorama criado por Louis Daguerre (1787-1851), que consistia numa tela espessa pintada dos dois lados. Quando era iluminado de um dos lados mostrava uma determinada coisa, quando era iluminado do lado oposto mostrava algo que podia ser completamente diferente da representação anterior. O diorama é um modo de apresentação artística tridimensional e a palavra, que deriva do grego, significa “através daquilo que é visto”. (Amim, 2007, p. 5)

De seguida surgiu o visor estereoscópico (figura 2 e 3), criado por Charles Wheatstone (1802 – 1875) que consistia num equipamento que permitia analisar duas imagens projetadas nos olhos em pontos de observação ligeiramente diferentes, fazendo com que o cérebro crie uma imagem tridimensional do que está a observar. (Amim, 2007, p. 5)



Figura 2 – Visor estereoscópico 2ª metade do século XIX



Figura 3 – Exemplo visor estereoscópico - 1962

O sensorama criado por Morton Heilig (1926-1997), foi das primeiras máquinas com tecnologia multissensorial, consistia em exibir imagens em 3D estereoscópico juntamente com som estéreo. Era possível inclinar o corpo acompanhando os movimentos do que se estava a ver criando a sensação de vento a que se juntavam aromas para apurar ainda mais os sentidos. Embora na altura tenha sido um projeto que não teve grande divulgação por falta de financiamento, é lembrado como um dos primeiros exemplos da RV. (Turi, 2014)

Em 1963, Ivan Sutherland criou o Sketchpad que é um editor gráfico destinado a objetos onde a informação que é desenhada ou escrita num ecrã físico passa para o computador. Em 1968 Ivan desenvolveu o primeiro dispositivo de vídeo usado na cabeça conhecido como *Head Mounted Display*, (ver figura 4). Este equipamento era muito limitado, os gráficos dos



Figura 4 – Head Mounted Display

elementos virtuais eram simples *wireframes*¹. Já era possível detetar o movimento da cabeça, mas este equipamento era tão pesado que era necessário estar preso no teto. Esta tecnologia começou a ser a base para criar uma experiência em RV. (Gregory & Joseph, 2013, p. 8)

O *videoplace* (figura 5) é uma tecnologia criada por Myron Krueger (n. 1942) e consiste em registar os movimentos do utilizador e sobrepô-los para uma tela onde temos uma projeção de algo digital, criando assim uma interação entre os movimentos da pessoa e o que está projetado na tela. Myron pretendia criar este tipo de ligação sem que fossem necessários acessórios no utilizador como óculos ou luvas. Esta tecnologia necessitava de um projetor, uma câmara e um computador. (Gregory & Joseph, 2013, p. 8)



Figura 5 – Videoplace

Mark Weiser (n. 1952) contribuiu com o conceito de computação ubíqua cujo objetivo era tornar a interação entre o homem e o computador o mais invisível possível, isto é, integrar as atividades informáticas com as ações e comportamentos naturais das pessoas. A aplicação deste conceito também tem sido investigada no campo da arquitetura. Uma das inúmeras

¹ *Wireframe* – é a representação de um objeto tridimensional apenas com as suas arestas, como se fosse a representação da estrutura do objeto. (Pereira, 2008)

aplicações possíveis prende-se com a possibilidade de controlar uma casa através da interação de quem habita com este sistema, podendo manipular remotamente a iluminação da casa, sistemas de som, ligar e desligar aparelhos e abrir e fechar estores, entre outras ações. (Weiser, 1994)

1.2. Equipamentos utilizados na Realidade Virtual

Podemos dividir os equipamentos usados na RV em três categorias: os equipamentos técnicos que geram as imagens; os dispositivos de visualização que produzem essas imagens; e por fim os equipamentos que nos permite navegar e interagir com essas imagens.

Para o uso da RV é necessário um equipamento com um processador para gerar imagens virtuais e um ecrã para produzir essas mesmas imagens. Os equipamentos mais utilizados na RV são os computadores fixos pois têm a capacidade de processar imagens como boa velocidade de geração e capacidade de computação, embora atualmente, com o avanço das tecnologias, também se comece a usar muito os smartphones para poder disfrutar da RV, permitem grande mobilidade e acesso à web em qualquer lugar, perdendo, no entanto, qualidade na velocidade e no processamento das imagens.

Os principais dispositivos de visualização utilizados são óculos ergonómicos (figura 6) que permitem a sua adaptação a qualquer utilizador. Estes óculos produzem uma sensação de tridimensionalidade pois usam a técnica do visor estereoscópico.



Figura 6 – Óculos Htc Vive

Existem dois tipos de óculos, os que tem o display (ecrã) incorporado e os que necessitam de um smartphone para servir de display, ambos considerados *Head Mounted Display* (HMD). Os óculos com display incorporado têm um custo elevado, mas também têm uma qualidade superior, um exemplo são os óculos Htc Vive com uma resolução de 2160x1200 e com sensor de acelerómetro², giroscópio³ e possuem também uma câmara frontal para detetar objetos ou movimentos à frente do utilizador. (Maturana, 2016)

Os óculos sem display precisam de incorporar um smartphone, como é o caso do modelo 3T da marca Oneplus como uma resolução de ecrã e de 1920x1080, possuindo também sensor de acelerómetro e de giroscópio. Neste tipo de óculos a performance depende das características do telemóvel. (Nguyen, 2017)

A Google decidiu lançar uns óculos sem display chamados Google Cardboard (ver figura 7), que como o nome indica são feitos de cartão com um par de lentes específicas. É um equipamento simples de baixo custo e cujo principal objetivo é converter um dispositivo existente num que possa exibir RV. (Hall, 2016)



Figura 7 – Goggle Cardboard

Os dispositivos de visualização referidos anteriormente necessitam do uso da estereoscopia, mas em 1992 os investigadores Carolina Cruz-Neira, Daniel Sandin (n. 1942) e

² Acelerómetro - sensor que deteta a direção e a quantidade de aceleração quando é acionado. (Landim, Como funcionam acelerómetros e giroscópios?, 2010)

³ Giroscópio – sensor que deteta a rotação em todos os eixos, permite saber informação da direção que está a ser utilizada. (Landim, Como funcionam acelerómetros e giroscópios?, 2010)

Thomas DeFanti (n. 1948), na universidade do Illinois em Chicago desenvolveram a CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*). O objetivo era criar um ambiente de RV mais focado na investigação científica suportado por computação de alto desempenho. Uma CAVE (figura 8) contém uma projeção na parede frontal, nas paredes laterais, no teto e no chão de uma divisão, de maneira a proporcionar uma maior imersão em redor do utilizador. Esta técnica traz vantagens em relação aos equipamentos de HMD, onde o campo de visão é reduzido e o utilizador fica isolado entre o real e o virtual, enquanto na CAVE temos um campo de visão muito mais abrangente permitindo o utilizador sentir-se envolvido pelo meio virtual, possibilitando também a presença e interação de mais do que um utilizador. (Rouse, CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*), 2016)

Para se poder ter uma experiência tridimensional é necessário que os dispositivos de projeção estejam preparados para emitir em 3D com tecnologia ativa ou passiva. A tecnologia ativa usa óculos ativos que têm uma pequena bateria permitindo ao equipamento Bluetooth⁴ conectar-se com os restantes equipamentos. As lentes funcionam como palas sincronizadas com



Figura 8 – Sistema CAVE

⁴ Bluetooth – conexão sem fios de curto alcance usado para comunicação entre vários dispositivos móveis. (Rouse, Bluetooth, 2017)

o projetor, tapando e destapando alternadamente cada olho com uma frequência de 30 imagens por olho num display de 60 Hertz (Hz), com um display de 120 Hz consegue-se 60 imagens por segundo por olho. Estas velocidades são tão rápidas que o utilizador nem consegue perceber. Recorde-se que, por exemplo, o cinema é nos apresentado num ciclo de 48 imagens por segundo em ambos os olhos. (Almeida, 2014)

Assim, na visão estereoscópica, quando um olho está a ver uma imagem o outro não está, sendo a visão alternada de modo tão rápido que o cérebro não associa que os dois olhos estão a ver imagens diferentes e simula então o efeito de tridimensionalidade. Esta tecnologia é de alta qualidade de imagem permitindo ao utilizador alterar o ângulo de visão sem que o efeito seja perdido. (Almeida, 2014)

Na tecnologia passiva, que usa óculos passivos, o projetor divide a imagem em linhas horizontais enquanto metade das linhas é visualizada pelo olho direito, a outra metade é visualizada pelo olho esquerdo e quando o cérebro reconstrói a imagem cria então o efeito tridimensional. Os óculos passivos são de valor muito mais baixo, mas perdem muito na qualidade. (Almeida, 2014)

Por fim, temos os equipamentos que nos permitem navegar e interagir com a RV, como o teclado que nos permite usar todo o tipo de teclas e atalhos, o rato que nos ajuda principalmente a controlar o que observamos em RV e o joystick que nos facilita e ajuda a movimentar em RV. Todos estes equipamentos são usados com o computador, mas são limitados pois não permitem grande mobilidade.

Por sua vez, os óculos Htc Vive possuem dois comandos e sensores exteriores que detetam os movimentos tornando toda a experiência mais interativa. (Maturana, 2016)

Em relação ao uso de smartphones para RV temos comandos portáteis onde podemos movimentar e interagir dentro do mundo virtual. Para usarmos o sentido da audição também é possível ligar auriculares tanto ao computador como ao smartphone e assim poder ouvir sons ligados ao que se está a observar em RV, tendo assim uma experiência muito mais interessante, multissensorial e imersiva.

1.3. Realidade Virtual Imersiva

A experiência da RV pode ser imersiva ou não imersiva, isto é, quando o utilizador apenas observa o mundo virtual sem conseguir interagir com este, chamamos de não imersiva, quando o observador consegue interagir e até manipular o mundo virtual, chamamos de Realidade Virtual imersiva. Neste caso o utilizador é transportado para o domínio da aplicação, por meio de dispositivos multissensoriais que captam os movimentos e comportamentos reagindo a eles e com eles. (Rouse, immersive virtual reality (immersive VR), 2016)



Figura 9 – Equipamento RV imersivo: óculos, auriculares e comandos

Existem vários elementos que aumentam a experiência de imersão, como a possibilidade de observar em todas as direções potenciando a continuidade do meio ambiente virtual, bem como a liberdade de movimento. Deste modo o utilizador consegue deslocar-se em RV, através de uma interação física permitindo a este interagir com objetos gerados virtualmente bem como receber estímulos emitidos por elementos de áudio 3D (figura 9). Esta classe de sons permite que os mesmos sejam produzidos consoante a localização do utilizador em relação ao espaço virtual. (Rouse, immersive virtual reality (immersive VR), 2016)

1.4. Aplicações da Realidade Virtual

A RV expandiu-se em várias áreas diferentes contribuindo a sua tecnologia para a melhoria de diferentes atividades levadas a cabo pelos seus utilizadores.

No mundo empresarial é possível ter reuniões virtuais colocando pessoas virtualmente juntas, facilitar o treino e formação dos colaboradores, preparar os funcionários para simulações de emergência e fazer testes de candidatura para futuros funcionários, entre outros aspetos da vida das empresas. (Miranda, 2017)

Em termos académicos a aplicação da RV pode conseguir todo o tipo de experiências virtuais, desde a criação de espaços para pesquisas futuras, até à possibilidade de observar formas moleculares em RV. (Miranda, 2017)

Na área da saúde a RV é usada para exercícios que permitam aos médicos permanecer atualizados em relação às mais recentes técnicas de diagnóstico, podendo ter um papel igualmente válido na sua formação permitindo a observação e manipulação do corpo humano, ajudando a criar novos métodos de diagnóstico clínico e a otimizar o aproveitamento do espaço físico em blocos operatórios ou outros espaços de intervenção médica. (Miranda, 2017)

De salientar que na área da psiquiatria e psicologia podem ser prescritos exercícios feitos em RV que potenciem o desenvolvimento de terapias para o tratamento de fobias, transtornos de ansiedade e dependência de substâncias. (Miranda, 2017)

A atividade dos jogos e entretenimento, é igualmente uma área de forte aplicação da RV, onde é possível nos transportarmos virtualmente para dentro dos jogos, seja para um episódio da 2ª Guerra Mundial ou para uma corrida de carros de fórmula 1. (Miranda, 2017)

Na simulação temos vários tipos de aplicação, sendo a mais importante e onde começou a haver necessidade de desenvolver a tecnologia RV a simulação de voo, que permite aos pilotos ou futuros pilotos praticar a ação de voo sem pôr a sua vida ou a de outros em risco. (Miranda, 2017)

Existem também simuladores de carros e motas usados em escolas de condução que têm o intuito de promover diferentes cenários de condução sem pôr em perigo terceiros. (Miranda, 2017)

No treino militar a RV é muito utilizada, tanto na simulação de condução de veículos, como aviões militares, proporcionando o simulacro de resposta em situações de guerra ou de outro tipo de ação militar. (Miranda, 2017)

No design, a RV pode ser aplicada na criação de instalações e simulação da distribuição espacial do interior de lojas, no desenvolvimento de um produto e na sua fácil modificação, sendo possível criar plataformas de marketing em RV. (Miranda, 2017)

A área de design do produto começa a utilizar esta tecnologia antevendo forte aplicação no campo de testes de protótipos em RV para melhorar o produto final. (Miranda, 2017)

Na arquitetura temos várias aplicações como o uso de manuais virtuais que servem de apoio aos empreiteiros e trabalhadores da construção, na ajuda a melhorar o marketing expondo os espaços de aluguer ou compra com vários tipos de disposição interior. Na criação de maquetes virtuais que nos permitem rever e editar com uma precisão perfeita muito mais rápida e barata que as maquetes físicas (Cardoso et al, 2017). Outra aplicação potencial prende-se com o planeamento urbanístico onde é possível termos uma noção à escala real de todo o espaço que estamos a desenvolver, possibilitando a criação de fluxos de movimento de pessoas e de meios de transporte para adequar o espaço às necessidades dos cidadãos.

Resumindo, a RV é uma tecnologia que surgiu na década de 60 e que está em constante desenvolvimento. Se no início os equipamentos eram muito complexos e difíceis de usar, não permitindo grande mobilidade, e sendo durante muito tempo uma tecnologia restrita apenas a cientistas e académicos, hoje em dia observa-se a sua maior disponibilidade de acesso a um público mais vasto, sendo assim, apenas com um smartphone e uns óculos próprios já é possível experimentar a RV em qualquer lado.

A própria visão e perceção gráfica do virtual mudou muito. Se ainda na década passada era possível ver um pequeno espaço onde os objetos virtuais eram feitos em *wireframe*, hoje é possível ter uma experiência em RV com grafismos muito perto do real o que muitas vezes faz o utilizador sentir que está a ter experiências reais, como andar de montanha russa, fazer *skydive*, fazer mergulho, pilotar aviões e muito mais.

O uso de equipamentos que permitem a manipulação dentro do ambiente de RV torna a experiência muito mais imersiva. Ao ser possível alterar elementos no mundo virtual, é expectável que o utilizador se sinta parte integrante desse mundo. Visto ser uma experiência criada a partir do virtual, é possível prever a aplicação da RV a todo o tipo de situações imaginadas.

No campo específico da arquitetura um dos objetivos da aplicação da RV é tornar todo o desenvolvimento de um projeto mais prático e rápido, tanto para o projetista como para o cliente/utilizador do espaço arquitetónico.

2. Investigação em Realidade Virtual no meio académico.

Na arquitetura, a RV tem vindo a ser desenvolvida de muitas formas, para fins diversos e com funções diferentes, mas sempre com o objetivo de proporcionar uma experiência virtual que ajude nas várias etapas de um projeto.

Ao longo da execução desta dissertação houve possibilidade de experimentar e observar o desenvolvimento da investigação académica relacionado com a RV em 3 locais: no Laboratório de Realidade Virtual que se situa na Faculdade de Arquitetura de Lisboa; no laboratório de realidade virtual do Centro de Investigação em Ciências da Informação, Tecnologias e Arquitetura (ISTAR-IUL); e por fim através da participação num *workshop* sobre realidade virtual realizado no Instituto de Engenharia de Sistemas de Computação e na Faculdade de Arquitetura de Lisboa com o nome de “Realidade Virtual na Modelação Conceptual na Arquitetura”.

O objetivo destas experiências e observações foi conseguir perceber, a nível académico, os últimos desenvolvimentos desta tecnologia, que tipo de objetivos existem, se eram convergentes uns com os outros, se usavam técnicas e meios diferentes de modo a entender quais os mais indicados para usar em determinadas experiências, que apoios têm os diferentes Laboratórios e seus projetos específicos. Foi analisado igualmente que equipamentos possuíam e se havia uma equivalência no uso das ferramentas de RV. Todas estas questões serviram para mais tarde perceber se seria possível desenvolver um projeto pessoal de investigação conducente à sua síntese nesta dissertação e se sim, que proveito seria possível tirar destas visitas para melhorar a execução da investigação levada a cabo e demonstrada nesta dissertação.

2.1. FAUL – Laboratório de Realidade Virtual

O Laboratório de Realidade Virtual (LRV) da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa (FAUL) tem como objetivo principal apoiar a formação dos cursos de arquitetura, urbanismo e design como suporte às atividades de projeto, disponibilizando a utilização de equipamentos que permitam uma experiência virtual que melhore o desenvolvimento das áreas mais físicas de um projeto. Este laboratório divide-se em duas áreas: uma área destinada à parte do desenvolvimento teórico equipada com computadores e uma sala

com equipamentos para pôr em prática os estudos desenvolvidos nas áreas da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada. (Faculdade de Arquitetura de Lisboa, 2016)

Fomos acompanhados na nossa estadia no LRV pelo arquiteto Eduardo Castro e Costa, bem como pelos arquitetos Rui de Klerk e Daniel Mateus, todos investigadores em computação aplicada à arquitetura, urbanismo e design.

No laboratório foi possível experimentar o modelo de uma mesa com um sistema de realidade aumentada imersiva desenvolvida no âmbito do projeto Alberti Digital⁵. Este sistema utiliza uma câmara de profundidade Kinect⁶, presente na figura 10, que faz o rastreio da cabeça



Figura 10 – Kinect

do utilizador, permitindo que quando este se desloca em torno da mesa a perspetiva do modelo 3D acompanhe a deslocação do mesmo. Para visualizar os modelos temos uma televisão 3D, figura 11, combinada com óculos 3D ativos, equipada com um quadro capaz de detetar até 10 toques permitindo a interação com os modelos virtuais.

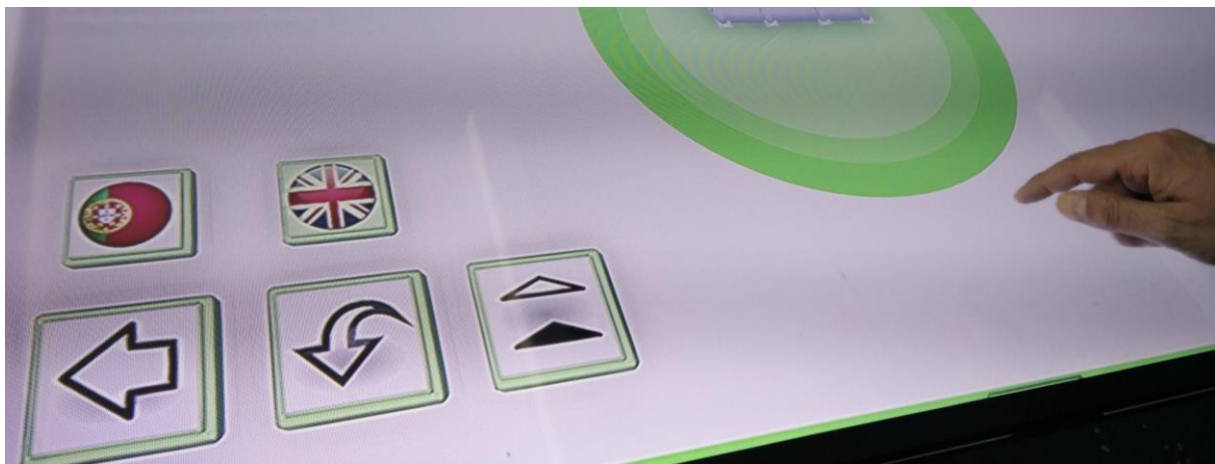


Figura 11 – Televisão 3D sensível ao toque

⁵ Alberti Digital – Projeto desenvolvido no LRV com o objetivo de estudar o tratado de arquitetura do arquiteto italiano Leon Battista Alberti, criando uma leitura desenvolvida nas novas tecnologias.

⁶ Kinect – Sensor de movimento desenvolvido pela Microsoft. Permite o utilizador interagir com o virtual sem necessidade de usar algum tipo de comando. Possui uma câmara RGB que permite o reconhecimento facial, um sensor de profundidade infravermelho que faz um scan do ambiente em 3D, um microfone embutido, um processador e um software próprio e é capaz de detetar até 48 pontos de articulação do corpo humano permitindo ter uma boa precisão. (Martin, 2010)

Por fim todos estes equipamentos estão ligados a um computador que, através de uma aplicação desenvolvida pelo software *Unity*⁷, permite a interação de todos os elementos com o utilizador.

Esta experiência consiste em gerar interação de modelos tridimensionais de edifícios e partes dos mesmos de acordo com as regras de uma gramática da forma advinda do tratado de arquitetura de Leon Baptista Alberti. (Araujo, et al., 2015, pp. 52-57)

Esta interação é feita através da possibilidade de movimentar, aumentar e diminuir modelos virtuais através do movimento dos dedos. Esta aplicação permite também criar um edifício através da combinação de vários módulos, como aparece na próxima imagem, permitindo ao utilizador interagir e criar novos modelos (figura 12).



Figura 12 – Programa criado para o projeto Alberti Digital

⁷ Unity – Motor de jogo 3D que permite também o desenvolvimento de programas e aplicações noutras áreas, nomeadamente na arquitetura. (Zamojc, 2012)

Na figura 13 é possível observar o sistema completo onde temos a câmara Kinect em frente da mesa para captar os movimentos do utilizador que, equipado com os óculos 3D consegue ver os modelos virtuais surgirem na televisão 3D, dando a perceção de uma maquete física que pode ser manipulada através do toque dos dedos.



Figura 13 – Mesa de realidade aumentada

Neste laboratório também foi possível experimentar a *Powerwall*⁸, que projeta modelos em 3D, onde é usado um projetor de alta resolução e de curta distância, figura 14, que através da projeção para um espelho permite ter uma resolução melhor e mais ampla a uma distancia curta da parede, ideal para espaços pequenos.

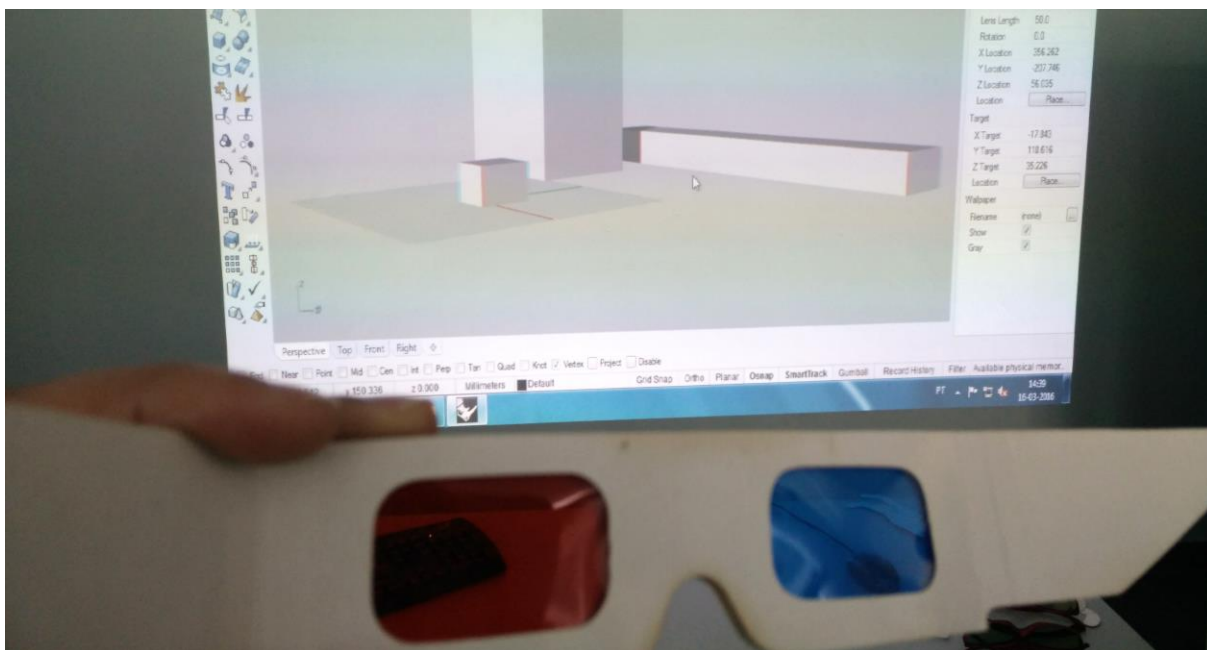


Figura 14 – Modelo 3D com óculos anáglifos

⁸ *Powerwall* – Display de alta resolução que pode ser produzido por um monitor ou um projetor, esta tecnologia necessita de menos hardware para conseguir produzir imagens de alta qualidade.

O programa Rhinoceros⁹ possui a opção de visualização que permite ver os modelos em 3D usando óculos anáglifos¹⁰, como na imagem seguinte.

Através do programa Navisworks¹¹, foi possível abrir modelos 3D e navegar em torno deles em tempo real, permitindo ao utilizador de ter uma perceção sobre o ambiente e o espaço do modelo.

Este laboratório possui também o sistema de AirSketching (figura 15) que não foi experimentado. O sistema consiste em criar um espaço tridimensional como uma sala interior e que permite fazer desenhos à mão livre em 3D, imagem 15. O equipamento usado são os Oculus Rift¹² que permitem ver o mundo virtual, e 2 sensores Kinect para detetar o movimento dos óculos e dos comandos. Este sistema estava inserido no projeto Tecton 3D abordado nesta dissertação seguidamente. (Faculdade de Arquitetura de Lisboa, 2016)

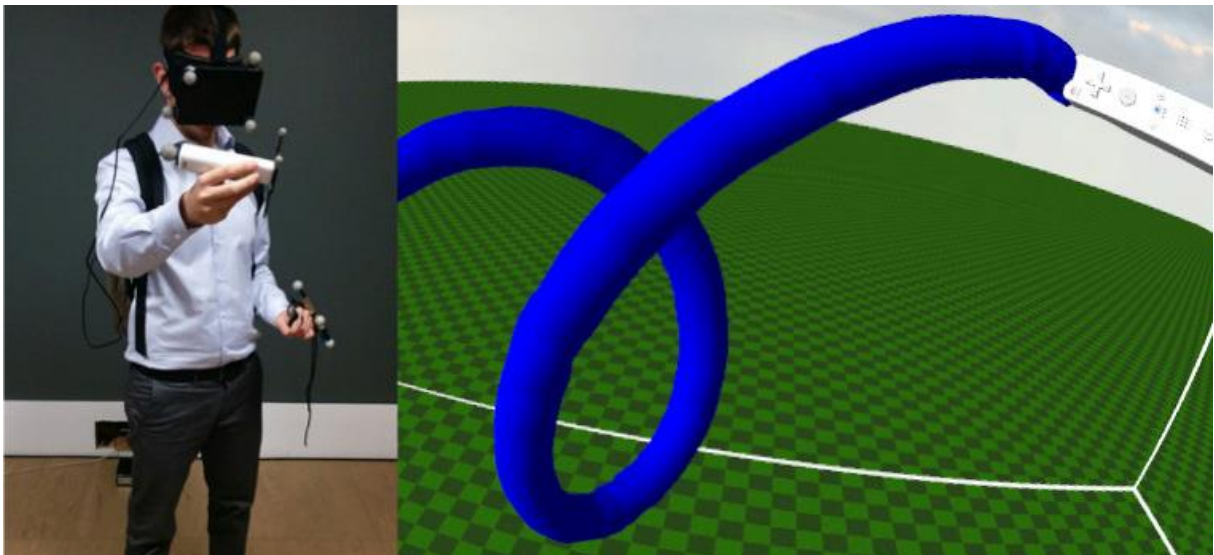


Figura 15 – AirSketching

⁹ Rhinoceros – Software que permite modelar em 2D e em 3D baseado na tecnologia NURBS que consiste num modelo matemático que permite gerar e representar formas e superfícies. Este software começou por ser um Plugin do Autocad. A extensão dos ficheiros gerados por este software é .3dm. (Admincc, 2015)

¹⁰ Óculos anáglifos – óculos com uma lente azul e outra vermelha, a lente azul anula os tons vermelhos e a lente vermelha anula os tons de azul, fazendo com que apenas um dos olhos perceba cada uma das cores, ao tentar criar uma imagem o cérebro sobrepõe uma à outra criando assim a sensação de profundidade. (Landim, Como funcionam os diferentes tipos de 3D?, 2011)

¹¹ Navisworks – Software que serve para complementar modelos em 3D, permite combinar e navegar em torno desses modelos em tempo real. É possível também adicionar outras informações nesse modelo como comentários, pontos de vista e medições. Este software começou por ser independente acabando por ser comprado pela Autodesk. A extensão dos ficheiros gerados por este software é .nwd, .nwf e .nwc. (Autor, 2014)

¹² Oculus Rift – equipamento de realidade virtual que permite imergir para o mundo virtual através de uns óculos com dois ecrãs destinados para cada olho com uma resolução full hd que permite ocupar grande parte do campo visual, três sensores giroscópicos que permitem monitorizar a cabeça do utilizador, com headphones integrados e um sensor externo para detetar o posicionamento dos óculos e dos comandos. (Sherri & Michael, 2016)

2.2. ISTAR IUL – Laboratório de Realidade Virtual

Fomos convidados pela arquiteta e professora auxiliar Sara Eloy a conhecer o laboratório de realidade virtual do Centro de Investigação em Ciências da Informação, Tecnologias e Arquitetura (ISTAR-IUL) com o objetivo de investigar a interação humana com elementos virtuais através do uso de equipamentos e softwares de computação, com o principal enfoque da investigação nos espaços arquitetónicos. Uma parte deste centro é destinada ao desenvolvimento de projetos na área da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada.

Alguns dos projetos aí realizados prendem-se com conteúdos para as redes da próxima geração, consistindo na introdução de jogos para ambientes imersivos com conteúdos educacionais para jovens estudantes permitindo que explorem a matemática, geometria e música. O utilizador pode experimentar vários tipos de mundos em 3D e usar os próprios gestos corporais ou a fala como ferramenta para interagir com o ambiente circundante. O utilizador é sempre “acompanhado” por uma personagem de inteligência artificial (IA) que ajuda a orientar o jogador nos diferentes níveis do jogo. (ISTAR-IUL, 2016)

O Planetário Digital é outro projeto que permite a visualização interativa de dados e fenómenos astrofísicos em RV imersiva. Foi criado um storyboard que descreve a experiência de navegar no sistema solar e na via láctea e que o utilizador pode experimentar através do formato *Powerwall*. (ISTAR-IUL, 2016)

A coleção de conjunto de dados RGB-D consiste numa biblioteca digital de objetos comuns do dia a dia em representação de modelos 3D digitais. Este sistema usa os sensores do equipamento Kinect para transmitir um objeto para um modelo digital. Já foram compilados e disponibilizados às comunidades académicas e científicas mais de 200 objetos domésticos comuns, como garfos, copos, pratos e bandejas. (ISTAR-IUL, 2016)

Experiências Virtuais no Campus é um projeto que usa o modelo 3D do campus do ISCTE-IUL e das áreas circundantes, permitindo visualizá-lo tanto em RV como em RA. O modelo permite uma perceção profunda do espaço, tanto pelos utilizadores regulares como pelos visitantes ocasionais e oferece os meios para apoiar a visualização imersiva do campus o que ajuda em possíveis alterações futuras. (ISTAR-IUL, 2016)

Uma das áreas de grande desenvolvimento que engloba vários projetos é a da RA, a ARCH (figura 16), é um projeto que consiste em auxiliar os arquitetos através da tecnologia de visualização e interação na RA, com um modelo virtual 3D do projeto de arquitetura que contém vários recursos que facilitam a modificação do modelo ou a interação do mesmo, a oclusão de objetos e o suporte de planos de corte interativos para visualização de detalhes de interiores.

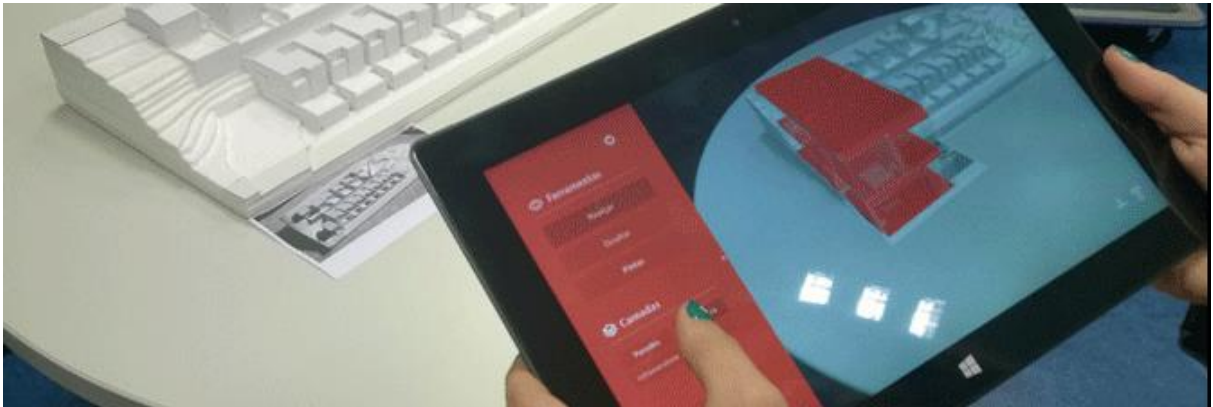


Figura 16 – ARCH

A ARch4maps é uma pesquisa que se focou principalmente na definição de uma aplicação que permite ao utilizador tirar proveito de mapas físicos das cidades, aumentando a informação que fornecem, permitindo a visualização de edifícios de forma interativa e dinâmica. (ISTAR-IUL, 2016)

A pesquisa *SeeARch* consiste em observar a arquitetura através de tecnologias digitais cujo objetivo é combinar o conhecimento de várias disciplinas com uma base comum de informações sobre a arquitetura das cidades. (ISTAR-IUL, 2016)

Um dos principais projetos deste departamento é a visualização e interação na RV imersiva usando o sistema *VIARMode*, que é uma tecnologia de representação e interação aplicada não só em várias fases de desenvolvimento de um projeto de arquitetura, mas também no contexto académico ou de investigação. Um dos objetivos é conseguir reunir vários intervenientes de um projeto de arquitetura como arquitetos, engenheiros, especialidades e clientes para que, com a utilização deste sistema, consigam mais facilmente comunicar através de representações claras e objetivas do projeto. (ISTAR-IUL, 2016)

Este projeto usa o dispositivo de visualização *Powerwall*, que consiste numa sala própria, fechada e protegida, equipada com cortinas para isolar o som e a iluminação aumentando assim a experiência de imersão. Possui um sistema de som 3D que permite identificar se o som vem da frente, de trás, de cima ou de baixo e a projeção é feita por reflexo

permitindo assim localizar o projetor mais próximo do local a projetar, este sistema possibilita a interação de várias pessoas. (Coroado, 2016, p. 193)

Para navegar, o utilizador pode usar vários dispositivos de entrada, um rato, um teclado de computador, um Joystick e uns auriculares com microfone (figura 17) que são utilizados para transmitir comandos de palavras ao software, permitindo assim alterar o modo de visualização do modelo em tempo real apenas com a utilização da voz. (Coroado, 2016, p. 213)



Figura 17 – Dispositivos de navegação

O sistema *VIARmodes* divide o modelo em 3 modos de visualização, o modo layers, o modo superfícies sombreadas e o modo realístico. O modo layers (ver figura 18), permite ao utilizador dividir o modelo em 6 layers diferentes com diversas cores para facilitar a leitura, como a estrutura a vermelho, as paredes a amarelo, o pavimento e tetos a laranja, os vãos a azul, as infraestruturas a verde e os equipamentos e mobiliário a cinzento. Para alterar as diversas layers o utilizador pode usar os comandos de voz como “liga estrutura” para ativar a layer estrutura. (Coroado, 2016, pp. 214-216)



Figura 18 – Modo layers

O modo superfícies sombreadas (figura 19) permite que a representação do projeto seja feita apenas com cores associadas a cada material, ao retirar as texturas permite uma rápida visualização e navegação no modelo. (Coroado, 2016, p. 216)

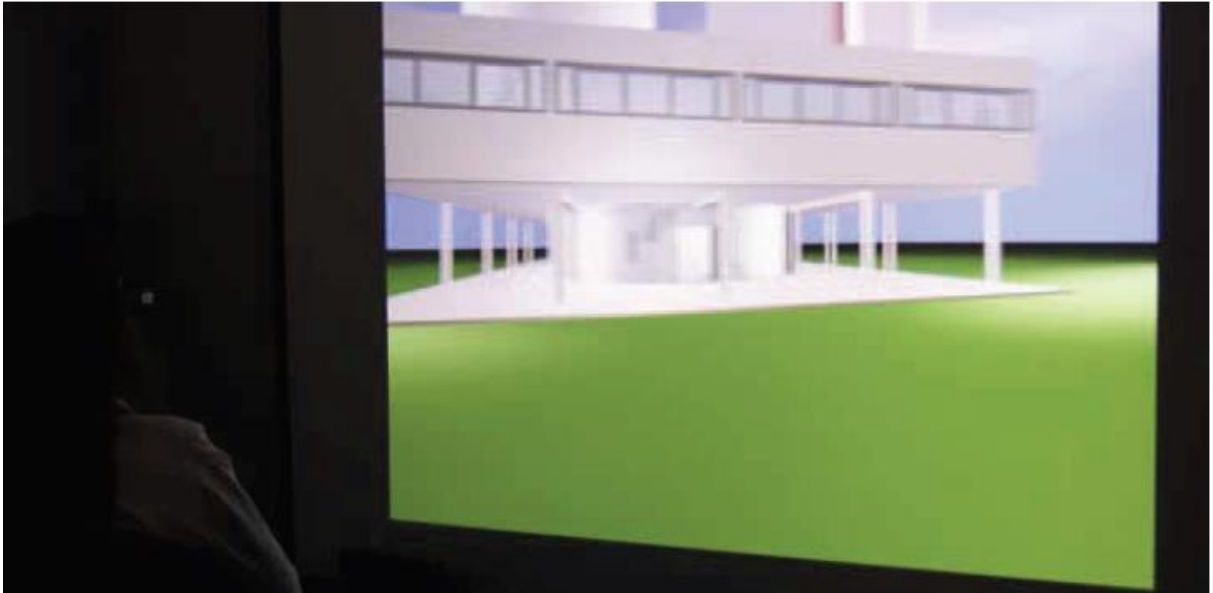


Figura 19 – Modo superfícies sombreadas

Por fim temos o modo realístico (figura 20) que permite uma representação mais real em que os materiais aparecem com texturas. Este modelo tem limitações no sentido em que não é possível uma navegação livre, é necessária a criação de uma animação que define um percurso fixo que permite ao utilizador apenas mover para a frente e para trás. (Coroado, 2016, p. 217)



Figura 20 – Modo realístico

Este sistema permite então a alteração entre 3 modos consoante a necessidade do tipo de visualização que o utilizador quer observar, para isso podem ser utilizados comandos de voz que permitem assim uma maior interatividade. Estes comandos são muito simples e práticos mantendo uma melhor interação entre o utilizador e o que está a observar. (Coroado, 2016, p. 214)

Depois do projeto estar todo desenvolvido foi necessário criar então o modelo 3D, através de comparação de vários softwares e decidiram usar o Revit¹³ 2014, pois utilizava um software de modelação e visualização BIM¹⁴ que embora seja um software muito completo, não era o suficiente para apresentar o projeto *VIARMode* por isso foi necessário utilizar o software Blender¹⁵. Para exportar o ficheiro foi utilizado o formato “3ds” que é utilizado normalmente no software 3DStudioMax¹⁶ e Rhinoceros. De seguida foi necessário desenvolver todos os grupos de layers, colocar todo o tipo de iluminação, atribuir entidades, criação de *triggers* para desencadear uma ação, aplicação de texturas e por fim colocar o modelo na interface *Powerwall*. (Coroado, 2016, pp. 219-231)

2.3. Tecton3D – Realidade Virtual na modelação conceptual em Arquitetura

Fomos convidados a participar num *workshop* (figura 21) pelo arquiteto Rui de Klerk investigador em computação aplicada à arquitetura, urbanismo e design, organizado pelo Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores – Investigação e Desenvolvimento (INESC-ID) no dia 31 de maio de 2016. Teve lugar de manhã nas instalações do Instituto Superior Técnico (IST) com uma experiência prática do protótipo *Maquetteer* e à tarde nas instalações da FAUL com uma série de conferências.

¹³ Revit – Software usado principalmente para arquitetura, com o conceito de modelagem das informações de construção (BIM). (Reis, 2017)

¹⁴ Building Information Modeling (BIM) – conceito que agrega todas as partes envolvidas de um projeto de construção, fornecendo informações aprofundadas sobre cada detalhe da construção. (Thomé, 2016)

¹⁵ Blender – Programa de computador de código aberto, desenvolvido pela Blender Foundation para modelagem de texturização, composição, renderização, animação, edição de vídeo e criação de aplicações interativas em 3D como jogos, apresentações e outros. (Oficina, 2010)

¹⁶ 3DStudio Max – Software com um conjunto de ferramentas que servem para criar um ambiente em 3D desenvolvendo espaços complexos e gera rapidamente efeitos de computação gráfica, jogos, conteúdos de alta qualidade e personagens realistas. (TECHTUDO, 2014)

O protótipo Maquetteer estava inserido no projeto Tecton 3D. Este projeto teve por objetivo integrar e simplificar as ferramentas de projeto e de troca de informação e comunicação entre as atividades de projeto e construção através de um ambiente imersivo de RV, e através de técnicas de interação manual e corporal entre o utilizador e o computador. O projetista usava as ferramentas digitais como a RV e a RA para conceber e construir de uma forma mais interativa.



Figura 21 – Conferência sobre o Tecton 3D

Inicialmente este projeto tinha como missão fazer uma análise de requisitos, como a caracterização genérica, e através de um inquérito pela internet concluíram que as ferramentas mais usadas eram o esquisso à mão com as vantagens de ser rápido, de fácil aprendizagem e utilização e liberdade na criatividade. A maquete com as vantagens de liberdade na criatividade é fácil de aprender e utilizar. O desenho e modelação em computador, em que as vantagens são a rapidez, o rigor e a precisão foi outra técnica elegida.

Na análise de ferramentas de software de desenho e modelação é importante referir que a lógica WIMP¹⁷ (*Windows, Icons, Menus and Pointers*) é usada nos softwares de modelação e que existem três tipos principais de modelação: a modelação direta onde se cria as superfícies e sólidos diretamente; a modelação paramétrica onde se cria as superfícies e sólidos através do controlo de parâmetros; e a modelação procedimental que cria as superfícies e

¹⁷ WIMP - interface criado pela empresa Microsoft que se baseia em janelas, ícones, menus e dispositivos como o rato. A interação é feita entre o físico, usando o rato, e o virtual, usando o ponteiro do rato no ecrã. (Palma, 2011)

sólidos através da definição de procedimentos como algoritmos e gramáticas da forma. (Palma, 2011)

Os principais protótipos criados pelo projeto Tecton 3D foram o Alberti Digital, que consistia numa mesa sensível ao toque interativa para a exploração de modelos segundo o tratado de Alberti, o *Airsketching* que era um protótipo que permitia fazer desenhos virtuais no espaço, o *WorldBuilder* que permitia a modelação com primitivas geométricas no espaço, o *CityWave* que servia para criar cenários urbanos através de gestos manuais executados sobre uma mesa com visualização estereoscópica, o *GeoCake* que permitia criar esboços de modelos geológicos através de gestos manuais executados sobre uma mesa, o *Ceramyca* que permitia criar e personalizar uma coleção de cerâmica de serviço de mesa, o *Virtual Grammars* que era destinado à criação de designs através da gramática da forma e por fim o protótipo Maquetteer que nos foi possível experimentar e era dedicado ao esboço de maquetes no espaço.

Este protótipo (figura 22) é uma ferramenta computacional inspirada no jogo *Minecraft*¹⁸, onde o utilizador tem a possibilidade de modelar vários paralelepípedos no ar, que servem tanto para criar como para apagar ou para seleccionar e desmarcar conteúdo.

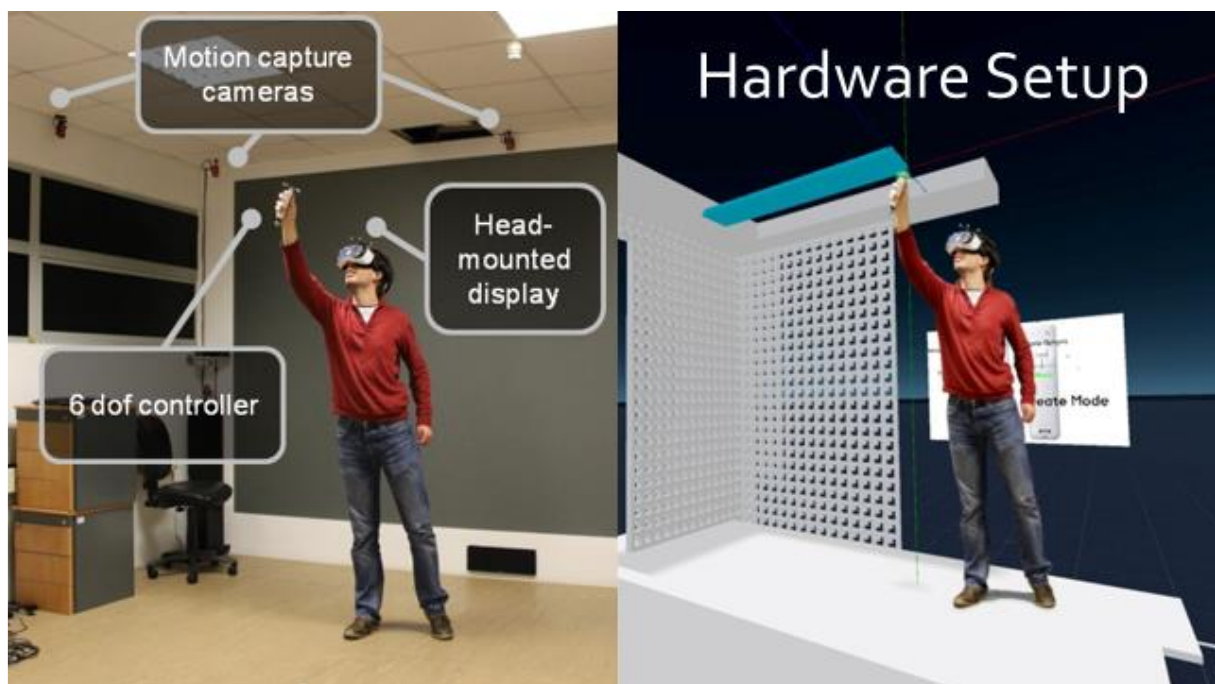


Figura 22 – Protótipo Maquetteer

¹⁸ Minecraft – jogo sobre um mundo virtual onde é possível criar vários tipos de construções usando como base o cubo. (Martins, 2015)

Os modelos criados consistem em objetos ortogonais que podem ser explorados em ambiente imersivo de RV. Para experimentar o Maquetteer é necessário ter um sistema de modo a capturar o movimento do utilizador, fazendo com que quando este se mova no espaço real o mesmo aconteça no espaço virtual. É necessário utilizar um comando wii remote¹⁹ para a interação e como modo de visualização é usado o smartphone Samsung S6 que integrado no Samsung GearVR²⁰ (ver figura 23) mostra uma imagem estereoscópica permitindo ao utilizador criar uma ilusão de profundidade. A eficácia deste protótipo é grande devido aos intensos testes feitos por vários tipos de utilizadores. Inicialmente usado por estudantes informáticos que contribuíram para a simplificação da interface eliminando assim o excesso de elementos visuais no espaço virtual, de seguida foi testado por arquitetos profissionais que, através do feedback, ajudaram a desenvolver novos modos de utilização, como a possibilidade de ter mais do que uma pessoa imersiva na experiência.

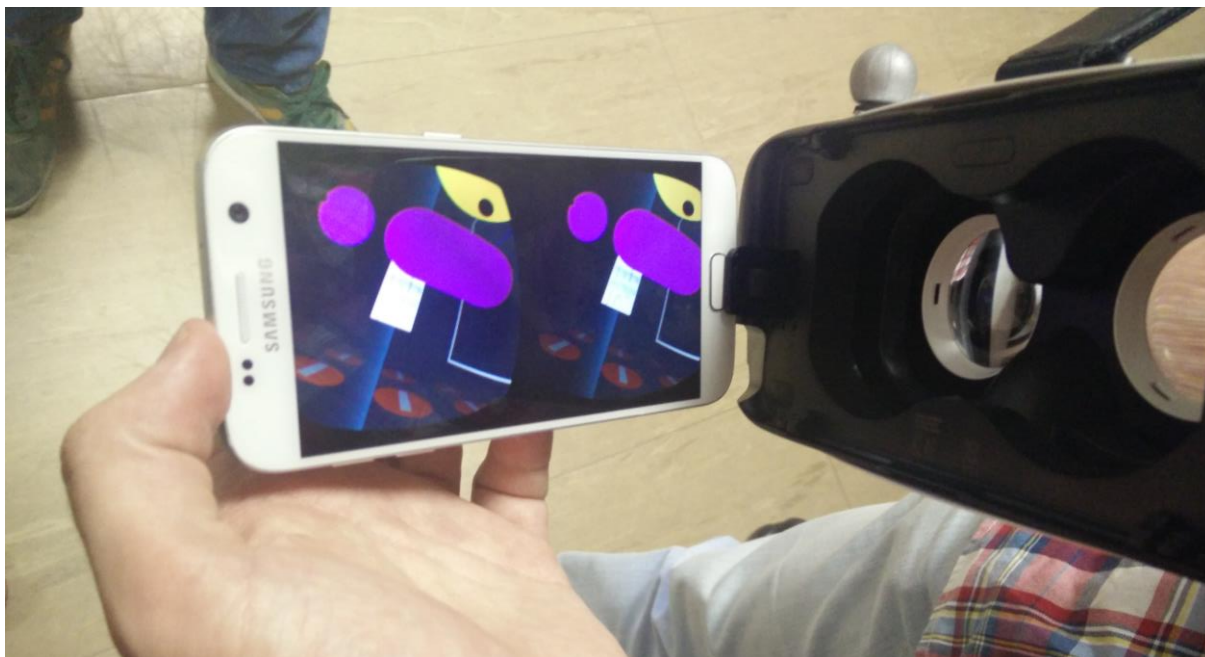


Figura 23 – Samsung GearVR

Por fim, o maquetteer permite a utilização até 4 pessoas dentro do mesmo ambiente virtual (figura 24), permitindo assim o trabalho colaborativo na medida em que os utilizadores podem partilhar o comando e gerar conteúdo sem ser necessário trocar os óculos de RV, ao mesmo tempo podem observar o que os outros fazem e assim partilhar ideias e opiniões em

¹⁹ Wii remote – comando sem fios da consola de jogos Wii que capta o movimento que o jogador faz com a mão e transmite esse movimento para o jogo. (Vasque, 2011)

²⁰ Samsung GearVR – Óculos específicos para Samsung com comandos na lateral para controlar o smartphone. (Faulkner, 2017)

tempo real. Adicionou-se também a possibilidade de criar cubos com vários ângulos múltiplos de 15 libertando-se assim da ortogonalidade.

Através destas três visitas foi possível perceber as melhores vantagens desta tecnologia para assim as conseguir implementar na experiência. A maior dificuldade que surge nestas tecnologias aqui abordadas é a questão da mobilidade, daí o objetivo da experiência prática levada a cabo nesta dissertação de criar um sistema que seja possível de usar em qualquer local apenas com a utilização de um smartphone, uns óculos de RV, uns auriculares e um comando.



Figura 24 – Protótipo Maquetteer com 4 utilizadores

3. Experiência em Realidade Virtual

A experiência seguidamente apresentada consistiu em criar um modelo para ser observado em realidade virtual, tentando recriar uma sensação de realidade. A principal vantagem que a RV consegue provocar é o impacto visual, por isso o meu objetivo foi perceber até que ponto é possível desenvolver um modelo de um projeto de arquitetura em formato digital e conseguir provocar esse impacto visual.

Através das experiências anteriormente expostas observou-se algumas vantagens, bem como das desvantagens do processo.

A experiência virtual levada a cabo teve como objetivo gerar um modelo e percorrê-lo de maneira a que fosse possível perceber como seria o seu espaço na realidade, através da representação dos volumes com materiais, ambiente natural, iluminação artificial e reflexos, ou seja, utilizando um conjunto de elementos e “objetos” virtuais que tornasse a experiência de percorrer o modelo do edifício proposto o mais real possível.

Numa primeira fase tentou-se compreender o que era necessário para conseguir executar esta experiência. Nesse sentido foi necessário encontrar um dispositivo de visualização, um software para o desenvolvimento do modelo e um comando manual para ser possível interagir no modelo.

Foi necessário escolher o dispositivo de visualização, surgiu a dúvida de optar por um tipo de óculos com ecrã incorporado, ou um tipo de óculos onde seria possível colocar o telemóvel e usá-lo como dispositivo de visualização.



Figura 25 – Smartphone OnePlus 3T

Optou-se por utilizar um telemóvel como dispositivo de visualização, o smartphone Oneplus 3T (ver figura 25), com um processador *Snapdragon* 835 Octa-core 2.45 GHz com uma gráfica *Adreno* 540 e com 6Gb de memória Ram. (Nguyen, 2017)

Deste modo foi possível ter uma boa performance do sistema RV. De referir que os óculos com ecrã incorporado têm um valor de cerca de 400 euros, sendo que os mais dispendiosos podem, à data, atingir os 1,400 euros, como os óculos Htc Vive. Estes, no entanto, vêm com comandos e sensores para detetar o movimento da cabeça e para detetar o movimento do corpo.

O smartphone utilizado, já vem equipado com acelerómetro e giroscópio que permitem detetar também o movimento da cabeça.

De seguida foi necessário decidir o tipo de óculos que fosse possível encaixar o smartphone foram encomendados uns óculos da marca *Shinecon* (figura 26) através do site chinês *Gearbest*, por cerca de 24 euros com um comando muito simples e limitado.



Figura 26 – Óculos *Shinecon* + comando

Na segunda fase da preparação da experiência prendeu-se com a escolha do melhor software para desenvolver o modelo virtual arquitetónico. Conclui-se que os dois melhores programas seriam o *Unity* 5 e o *Unreal Engine* 4. Ambos os programas começaram por ser utilizados para o desenvolvimento de jogos de computador e posteriormente passaram a ser usados noutras áreas, sendo uma delas a representação de modelos de arquitetura.

3.1. Escolha do programa *Unity* ou *Unreal Engine*

Existem vários tipos de programas para modelação específicos para arquitetura, mas estes não estão desenvolvidos para uma demonstração final do produto o mais real possível, sendo que essas demonstrações são normalmente imagens sem qualquer dinâmica, próprias de um ambiente de jogos, o que muitas vezes dificulta a compreensão do modelo arquitetónico.

Os programas de edição de aplicações e de jogos de computador são os ideais para criar um modelo em ambiente RV e que pudesse ser explorado com o aspeto de projeto finalizado. Como referido anteriormente os dois programas principais para modelação e edição de jogos de computador são o *Unity* na versão 5 e o *Unreal Engine* na versão 4. Seria então com um dos dois que o modelo iria ser gerado (figura 27).

O *Unity* dispõe de um display simples e didático, sendo que grande parte das funções e atalhos estão acessíveis no display principal. Os gráficos não são de alta qualidade o que permite o uso de computadores com uma configuração de computação gráfica mais simples. A linguagem de programação mais utilizada nesta plataforma é a linguagem C++²¹, posteriormente começou a ser usada programação Blueprint²². (Pluralsight, 2014)

Os gráficos da interface são bons, mas para os melhorar é necessário instalar plugins²³. Por exemplo, a criação de um terreno é muito complexa e necessita sempre de carregar a imagem fonte tornando todo o processo muito mais demorado. (Pluralsight, 2014)

De salientar que a data da realização desta dissertação o *Unity* tinha 4 versões: a versão grátis para empresas que faturam menos de 100 mil euros anuais, a versão *Plus* com pagamento de 32 euros mensais com algumas vantagens em relação à versão anterior, a versão *Pro* com pagamento mensal de 115 euros ficando as empresas utilizadoras sem limites de faturação, por fim a versão *Enterprise* em que tanto o valor como as configurações da versão são personalizadas. (Pluralsight, 2014)

Por outro lado, o software *Unreal Engine* possuía um display simples e didático, sendo que para aceder a algumas funções fosse necessário abrir outras janelas. Os gráficos eram muito melhores e mais pesados necessitando assim de computadores bem equipados e com características mais avançadas. Este programa foi desenvolvido a pensar mais na programação Blueprint, mas também é possível programar em C++. Criar e modelar um terreno pode ser

²¹ C++ - linguagem de programação de alto nível mais usada no mundo, é editada através de comandos por escrito. (Hope, C++, 2017)

²² Blueprint – linguagem de programação que é editada através da conceção de caixas de comandos.

²³ Plugins – Software adicional a um programa com recursos adicionais. (Hope, Plugin, 2017)

uma ação muito simples, prática e rápida sendo que o carregamento da imagem quase nem se nota, ficando a imagem logo otimizada. (Pluralsight, 2014)

O *Unreal* é de instalação grátis, apenas cada jogo ou aplicação que lucre mais de 3 mil euros em três meses tem um custo de 5% de *royales* para a *Unreal*. (Pluralsight, 2014)



Figura 27 – Unity vs Unreal Engine

Sendo ambos os programas muito completos, optou-se por gerar o modelo virtual com o *Unreal Engine 4* pois a interface é mais parecida com a dos programas usados em arquitetura, tornando mais fácil a interação com o mesmo.

Visto o objetivo ser criar um modelo para ser explorado em realidade virtual, é importante a escolha do *Unreal* pois este permitia obter um grafismo com mais detalhe em tempo real. Como este programa está mais desenvolvido para a programação com blueprint tornou-se mais fácil o seu uso, particularmente para o utilizador que não tem conhecimento de programação em C++.

O *Unreal* possui também uma grande biblioteca de ficheiros da qual foi possível fazer o download gratuito.

3.2. Criação do modelo para Realidade Virtual

Com o programa escolhido para modelar, foi necessário então desenvolver um projeto.

Visto o objetivo desta investigação ser apenas dissertar acerca do potencial da RV, foi escolhido um programa relativamente simples, gerar uma moradia num terreno aleatório. Um dos objetivos era, portanto, mostrar o interior bem como a ligação com o exterior.

As primeiras “experiências” de modelação não foram diretamente com o programa *Unreal Engine*, devido à falta de conhecimento com o mesmo, mas com o Rhinoceros para depois exportar para o *Unreal*. Com esta experiência inicial compreendeu-se que para poder alterar os vários materiais das paredes e das lajes seria necessário fazer com que cada peça fosse independente, o que levou a que ao exportar o modelo de Rhinoceros para *Unreal Engine* fossem automaticamente criadas cerca de mais de 300 peças, o que dificultava em muito a capacidade de computação ao responder aos comandos. Como tal decidiu-se então modelar diretamente em 3D no *Unreal Engine*.

O modelo, embora inspirado num projeto efetuado na faculdade, foi desenvolvido e alterado consoante as experiências que tive ao percorrer o espaço em RV, isto é, começou-se por criar a laje total da habitação e depois foram colocadas paredes para criar áreas como quartos e instalações sanitárias. Em seguida experimentou-se percorrer o espaço em RV, o que permitiu ir alterando as dimensões consoante o que sentia do espaço projetado, mesmo que estando completamente emergido na RV.

Para se poder ver o modelo em RV foi necessário instalar o programa Trinus VR tanto no telemóvel como no computador (figura 28).

Este programa faz com que a imagem do computador apareça no telemóvel em estereoscopia e essa ligação pode ser feita tanto por usb ou partilhando a mesma ligação de internet wireless.

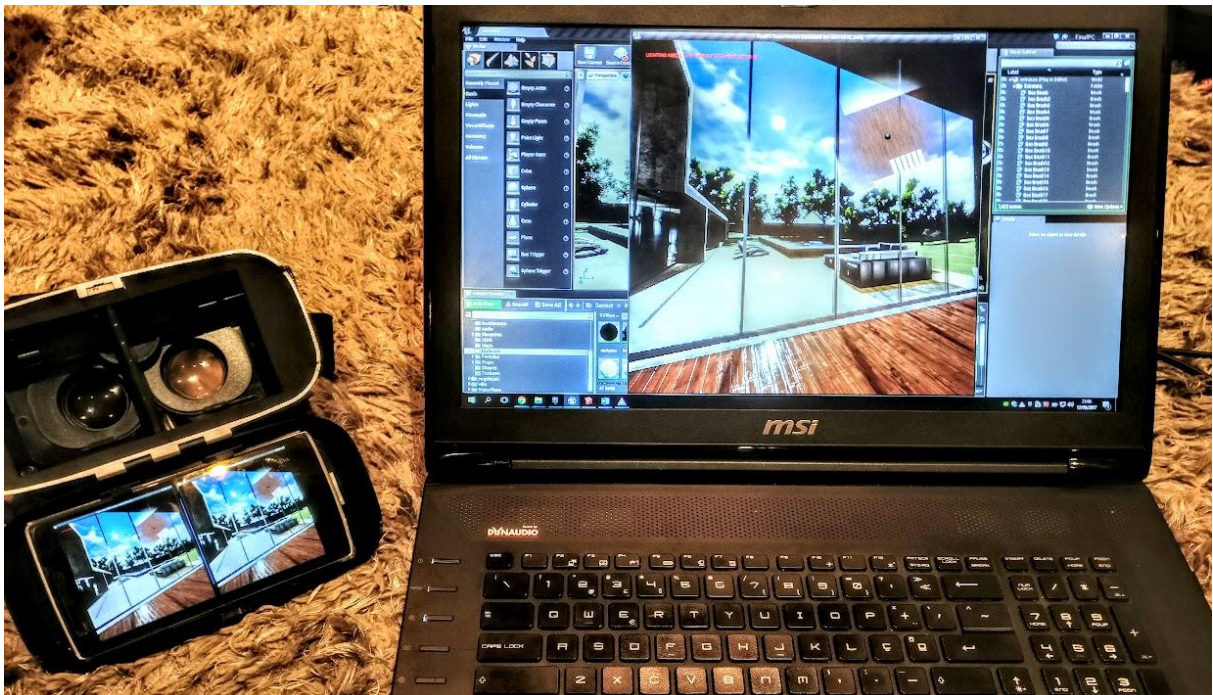


Figura 28 – Programa Trinus VR

Para ser possível percorrer o modelo foi necessário começar a aprender a programar no *Unreal Engine*, através de tutoriais e através de experiências.

Este software tem dois tipos de programação, C++ e Blueprint. Como já foi explicado C++ é uma linguagem de programação por objetos, tornando muito complicada a aprendizagem para um estudante que não tem conhecimento deste tipo de linguagem.

A linguagem Blueprint (figura 30), sendo uma linguagem de programação visual por objetos, é muito mais prática e didática e consiste em conectar caixas de componentes que podem significar atributos, funções, parâmetros, etc...

Para um estudante de arquitetura esta linguagem é muito semelhante ao Grasshopper²⁴ (figura 29), cuja aprendizagem é ministrada no curso da ULHT, tornando mais fácil de programar.

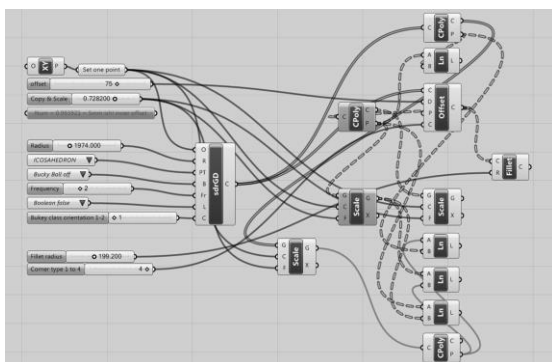


Figura 29 – Grasshopper

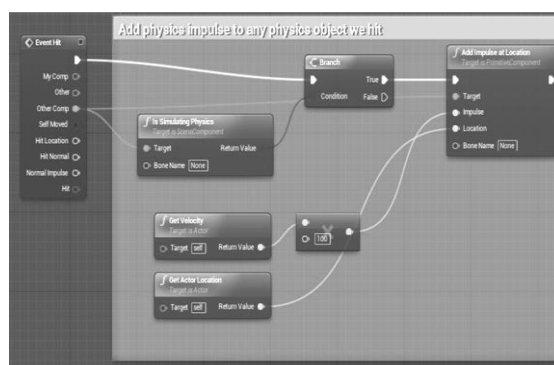


Figura 30 – Blueprint

O primeiro passo a fazer no programa foi criar um modo que guardasse todo o tipo de configurações. Este modo assemelhava-se à base do modelo, sendo as configurações principais definidas neste modo.

De seguida foi criada uma personagem que tem várias configurações agregadas, como a altura em que está o observador. Por defeito as configurações da personagem vêm de modo a que a câmara se desloque para todos os lados, como se fosse em modo de vista livre, perdendo-se a noção de estar naquele lugar. Como tal foi necessário criar comandos para deslocar a câmara, mas mantendo-a sempre à mesma distância da laje localizada em baixo, simulando assim o movimento de uma pessoa. Foi preciso adicionar nas configurações do ficheiro as teclas utilizadas para poder mais tarde a interligar aos comandos desejados. Neste caso foram adicionadas teclas direcionais para comandar a personagem, e o movimento do rato para comandar a câmara. Depois de se adicionar as teclas foi necessário criar então um conjunto de

²⁴ Grasshopper – Plugin para o Rhinoceros, editor de caixas de comandos que aproveita as ferramentas existentes no Rhino. (Relly, 2014)

comandos para fazer a programação de modo a que a personagem se movimentasse no modelo (ver figura 31).

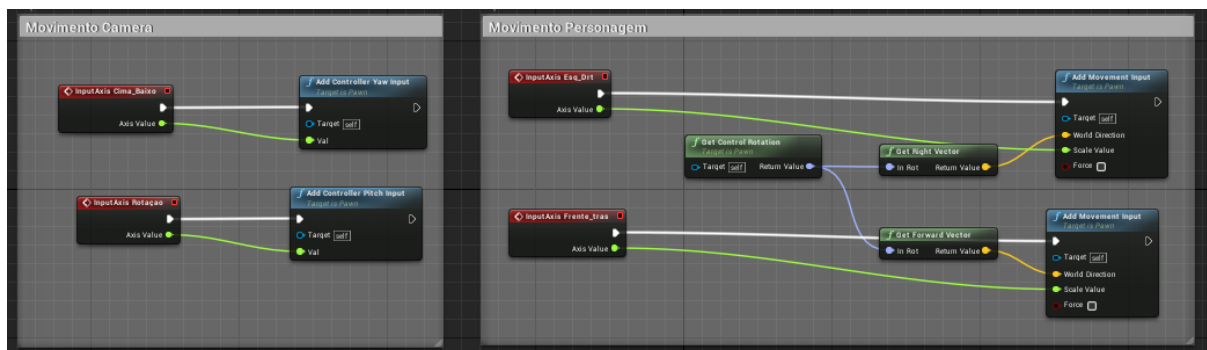


Figura 31 – Programação do movimento

Posteriormente foi experimentado o modelo realçando-se dois problemas, caso haja problemas na ligação à internet é necessário usar um cabo usb tornando difícil o movimento do utilizador, ao se usar as teclas do computador e o rato é necessário o utilizador estar sentado, acabando por dificultar a imersão entre o movimentar no mundo virtual e a controlar no mundo real.

Como tal criou-se uma aplicação para o telemóvel que permitiu usá-lo sem qualquer tipo de cabo, onde o movimento da câmara era feito através dos sensores acelerómetro e giroscópico. No entanto para o movimento da personagem a solução mais prática foi comprar um comando.

Sendo assim, foi adquirido um comando (figura 32) com o valor de cerca de 40 euros, que permitiu fazer uma ligação sem fios ao telemóvel, conseguindo fazer com que fosse possível testar esta experiência em qualquer lugar. Para isso era necessário ter um smartphone, a aplicação instalada no smartphone, uns óculos para colocar o smartphone e o comando sem fios que permitisse o movimento do utilizador dentro do modelo.



Figura 32 – Comando sem fios Gamesir G4s

A fase seguinte de trabalho do modelo virtual foi colocar os materiais.

O *Unreal Engine* possui uma biblioteca de vários tipos de ficheiros, sendo que a maior parte acresce um pagamento de uma determinada soma. É, no entanto, possível ter uns exemplos de materiais sem custos, e de blocos²⁵ como árvores e relva.

Sendo assim fez-se o download dos materiais. Para os colocar no modelo bastou arrastá-los para a superfície onde era pretendido aplicar.

De salientar que é possível abrir as definições do material para poder alterar a cor, a densidade e o brilho entre outros. Também se pode criar um material de raiz, usando a programação de blueprint, alterando os parâmetros RGB²⁶ para definir a cor.

Para tornar toda a experiência mais imersiva foi decidido criar o máximo de interatividade entre o utilizador e o modelo, com a possibilidade de abrir e fechar portas. Para isso criou-se o modelo da porta, de seguida uma caixa transparente que definia o alcance em que o utilizador pode ativar o comando, isto é, quando o utilizador se aproximasse da porta e tocasse na caixa transparente “entraria” dentro da área onde pode acionar o comando de abrir ou fechar a porta. Seguidamente bastaria ao utilizador decidir qual a tecla para usar o comando.

Outra possibilidade de interatividade que é potencialmente útil em arquitetura de modo a se poder ter uma melhor perceção de um projeto é conseguir controlar a disposição solar (figura 33). Deste modo poder-se-á fazer as alterações necessárias dentro da habitação, bem como fora da habitação. Note-se que ao poder colocar o modelo em modo noite também é possível observar a iluminação artificial aplicada no projeto.

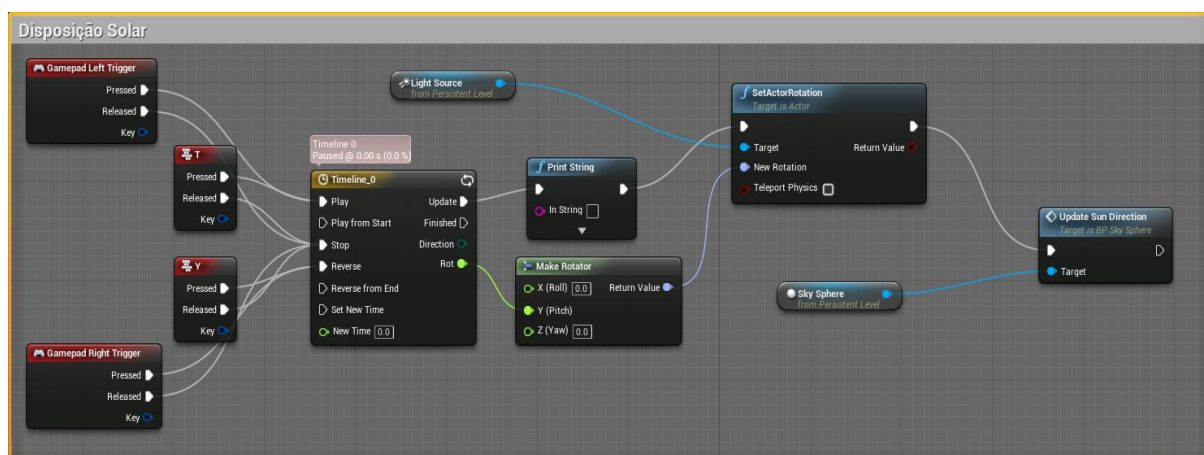


Figura 33 – Programação da disposição solar

²⁵ Bloco – Grupo de objetos em 2D ou 3D que são utilizados para criar conteúdos repetitivos.

²⁶ RGB (Red, Green, Blue) – Sistema de cores que usa as cores vermelho, verde e azul para misturar e criar outras cores.

Por fim a ideia de criar uma planta num dos cantos do nosso espaço visual ajudou também a ter uma melhor perceção do espaço do nosso modelo. Sendo assim decidiu-se criar uma espécie de mini mapa no canto superior direito (figura 34) para o utilizador conseguir ter uma melhor noção da planta do modelo. Todos estes acertos foram constantemente experimentados de modo a detetar erros de projeto.



Figura 34 – Mini mapa no canto superior direito

No ato de projeto e estando dentro do modelo em RV foi possível compreender-se que a iluminação era insuficiente e não se espalhava como a iluminação do mundo real. A deteção deste “erro” levou à pesquisa específica acerca da aplicação da iluminação no modelo gerado em *Unreal* o que levou à compreensão de que seria necessário usar uma ferramenta do programa *Unreal Engine* que alterava o reflexo. Esta permitiu que uma determinada área definida pelo projetista (ou gerador do modelo) espalhe o reflexo de determinada luz criando assim o seu reflexo nos elementos em redor como no mobiliário, chão e paredes entre outros.

3.3. Resultado Final

É dada a conhecer a experiência levada a cabo e que culminou na elaboração de um projeto de arquitetura de uma moradia em Realidade Virtual, focando a escolha do programa *Unreal Engine*, a criação de um modelo para Realidade Virtual e o resultado final de representação em Realidade Virtual da proposta.

Todo o processo de desenvolvimento da proposta foi feito simultaneamente com experiências em RV, o programa do projeto, o formato do projeto, as áreas do projeto, a iluminação e a qualidade do céu.

Todas as questões que surgiram ao longo do processo de projeto foram sendo decididas entre o que aparecia no ecrã do computador e o que analisava em RV. Foi possível compreender que ao passar para a plataforma android surgiram várias limitações, a qualidade é inferior e foi necessário reduzir alguns elementos para que a experiência através do smartphone fosse o mais natural possível (ver figura 35 e 36).



Figura 35 – Ecrã do computador

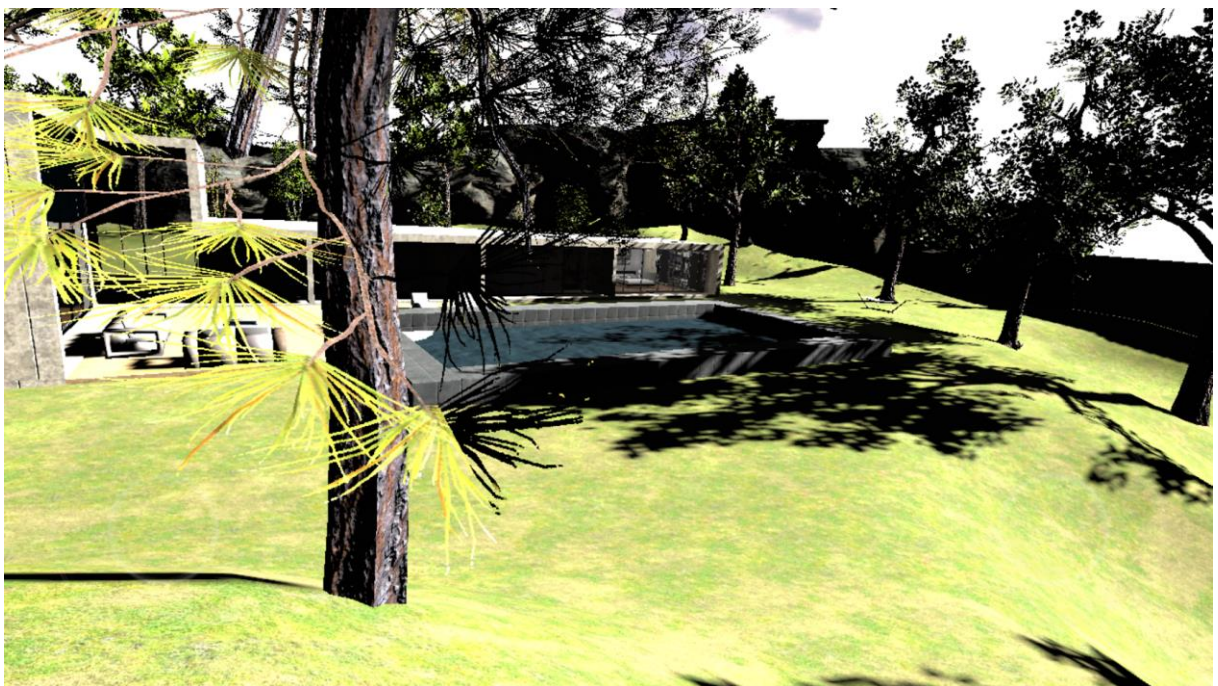


Figura 36 – Ecrã do smartphone

As vantagens de usar este tipo de tecnologias são variadas, como o facto de se estar na fase inicial de um projeto onde é necessário começar a desenvolver um volume inicial. Com esta tecnologia conseguimos perceber não só esse volume à escala real como também podemos fazer rápidas modificações.

Assim para o desenvolvimento de um projeto é possível, em fase inicial, ter a ideia de como será aquela forma arquitetónica à escala real. Outra vantagem será melhorar a comunicação entre o cliente e o arquiteto, pois a maior parte dos clientes não tem conhecimentos para interpretar uma planta de arquitetura, e muitas vezes só quando vêm o projeto completamente construído é que se deparam com situações que não são do seu agrado, tornando-se muito dispendiosas possíveis alterações.

Através da RV o cliente consegue perceber o aspeto final do projeto de arquitetura (figura 37) e assim decidir qualquer tipo de alterações e modificações.



Figura 37 – Perspetiva do interior

É uma mais valia o uso da RV para facilitar a aprovação do cliente. Hoje em dia na maior parte dos projetos é exigido elementos em 3D, logo, é sempre necessário fazer um modelo completo em 3D para se poder apresentar renders. Como tal, para a utilização desta tecnologia não é necessário produzir mais trabalho, e o facto de o programa ser gratuito torna menos dispendioso o uso desta tecnologia em comparação com os programas usados para renderizar, que podem ter custos elevados de produção. Visto que o modelo gerado no programa *Unreal Engine* já está renderizado (figura 38) torna-se muito rápido e fácil fazer o render, demorando apenas alguns segundos.



Figura 38 – Perspetiva do interior

Esta tecnologia permite simular tanto espaços de habitação como espaços comerciais, podendo-se fazer testes aos sistemas de saída de emergência, vendo por exemplo a reação que o utilizador pode ter nesse tipo de testes. Mas a principal vantagem do uso desta tecnologia na arquitetura é poder mostrar um projeto em RV com o aspeto mais autentico possível permitindo ao utilizador/cliente ter a perceção de como seria habitar naquele espaço, através da introdução de materiais, colocação de iluminação, uso de vento, criação de um céu com uma cor natural onde as nuvens se movimentam consoante o vento, controlar o sol para termos uma noção de

como a disposição solar altera o espaço interior da habitação e introduzir elementos naturais como árvores, relva e água (ver figura 39).



Figura 39 – Perspetiva do exterior

Ao colocarmos os óculos, ao controlarmos o nosso movimento através do comando e com todos estes elementos já referidos, sentimos que estamos mesmo dentro daquele ambiente, fazendo com que esta experiência mostre um novo complemento da forma como apresentamos um projeto de arquitetura (figura 40 e 41).



Figura 40 – Utilizador sentado



Figura 41 – Utilizador em pé

As desvantagens surgem principalmente por ser um programa específico para jogos, tornando mais difícil modelar em 3D, mas o tempo perdido a fazer o modelo é ganho quando se torna necessário o uso de renders.

Para poder ser uma experiência imersiva é necessário colocar vários tipos de elementos, que são definidos por programação e essa tarefa tornou-se mais facilitada com o surgimento da programação por Blueprint.

Como o programa tem vários tipos de ferramentas pode tornar-se complexo para executar determinadas tarefas. É necessário definir logo de início qual o meio de visualização que se pretende criar o projeto, se para computador ou para smartphone. Caso seja para este último, convém ter em consideração que a qualidade visual pode torna-se inferior àquela gerada em computador.

Nesta experiência foi possível apurar que existem 3 meios de visualização, cada um com as suas vantagens. O primeiro meio é relativo à aplicação do telemóvel, os óculos de RV e um comando ligado ao telemóvel sem fios. Apresenta a vantagem de ser possível de usar em todo o lado, seja no exterior, seja no interior, em qualquer parte do mundo, sem cabos, mas por usar o smartphone como processador gráfico do modelo a qualidade, embora muito boa, não é perfeita.

O segundo meio é através do computador, mas sem fios. Este implica que tanto o telemóvel como o computador estejam ligados à mesma rede de internet wireless e consoante a capacidade da internet, melhor a prestação da imagem. Se for uma boa ligação de internet é possível ter uma imagem praticamente continua, mas se a ligação for má vai-se notando muitas falhas na geração das imagens. Este sistema é feito com um computador que, através de um software, duplica a imagem no telemóvel em estereoscopia. O telemóvel colocado nos óculos em conjunto com o comando ligado ao computador sem fios pode-se obter uma qualidade de simulação perfeita, já que usa o computador como processador da imagem. Este sistema pode tornar-se complicado de ser usado em qualquer lado pois precisa de um computador e de uma ligação à internet.

Por fim o último meio de RV pode ser obtido ligando o telemóvel ao computador por cabo, fazendo com que não seja necessário internet, mas torna-se difícil a mobilidade pois é necessário ter um cabo ligado ao telemóvel que está colocado dentro dos óculos. Este meio apenas precisa do computador, do telemóvel, dos óculos e do comando, mas o seu uso é muito limitado pois restringe a movimentação quando temos o computador ligado por cabo ao telemóvel.

Sendo o resultado de todos estes meios muito positivo, o que mais vantagens revelou, na aplicação da RV na geração e apresentação de um projeto de arquitetura foi o primeiro meio, ou seja, através da aplicação no telemóvel (figura 42) como acima referido. Embora neste caso a qualidade de imagem seja um pouco inferior, a mobilidade e a facilidade de usar esta tecnologia mostram o verdadeiro potencial da RV e conseguindo transmitir o que pode ser um projeto de arquitetura muito próximo de uma fase de conclusão.



Figura 42 – Equipamento necessário

O projeto criado para esta experiência é inspirado num trabalho académico executado num ano anterior, mas foi desenvolvido e alterado com as várias experiências de RV que fizeram chegar ao resultado final de uma habitação unifamiliar com três quartos e quatro casas de banho, uma sala comum e uma cozinha com espaço para refeições, equipada com uma despensa no piso térreo, e no piso superior, com acesso pela sala, uma pequena área de lazer (figura 43 e 44).



Figura 43 – Planta piso térreo



Figura 44 – Planta piso 1

No exterior a moradia está rodeada de árvores, zonas verdes e uma piscina onde é introduzido o elemento da água no projeto.

A ideia era tentar colocar o máximo de elementos naturais para poderem ser observados e testados em RV.



Figura 45 – Alçado poente



Figura 46 – Alçado nascente

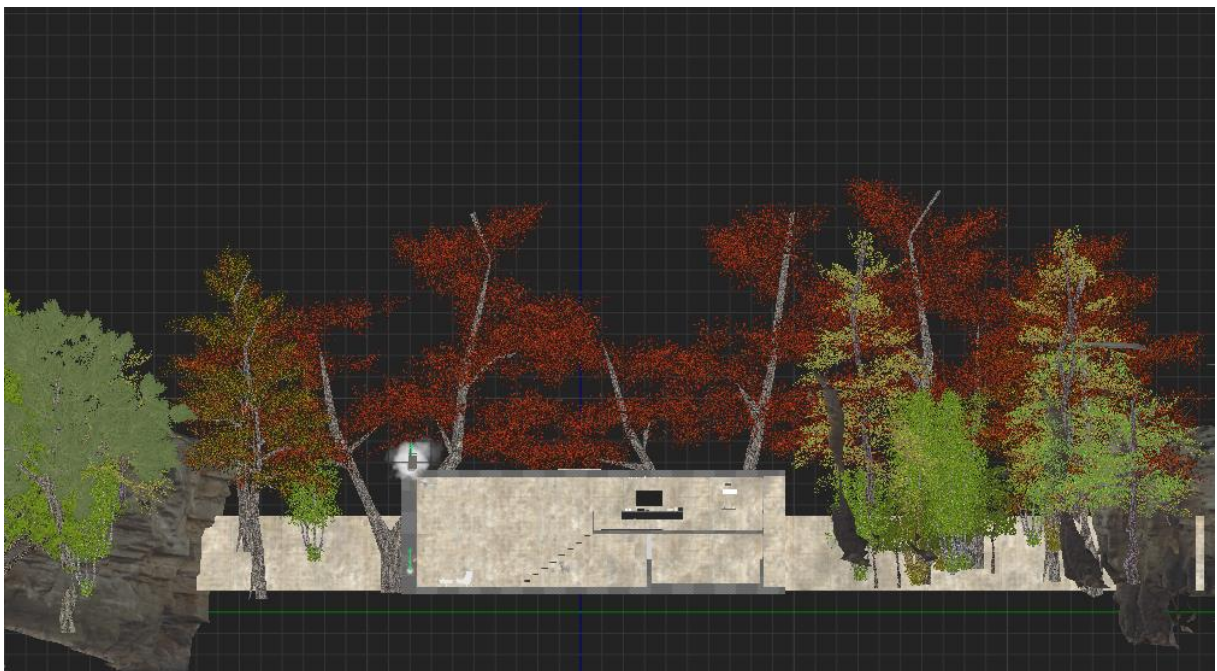


Figura 47 – Corte A-A'

Também é possível retirar desenhos mais técnicos do *Unreal Engine*, todas as imagens foram retiradas diretamente do programa sem nenhum tratamento (ver figura 45, 46 e 47).

Esta experiência surgiu da procura de uma nova tecnologia para desenvolver e apresentar projetos de arquitetura.

Foi possível mostrar que apenas com um investimento de cerca de 70 euros e investigação se consegue desenvolver uma experiência válida, capaz de trazer algo mais para a apresentação de um projeto de arquitetura como demonstra a figura 48.



Figura 48 – Perspetiva aérea do projeto

Conclusão

Esta dissertação centrou-se na importância que a RV pode ter na arquitetura e que vantagens pode trazer, tanto no desenvolvimento como na apresentação de um projeto de arquitetura.

Como tal, esta dissertação permitiu clarificar o objeto de estudo, que neste caso é o contributo da RV aplicada à conceção permanente de um projeto de arquitetura, mostrando consequentemente quais os objetivos desta dissertação, expondo a metodologia aplicada e por fim, a descrição da organização da investigação.

Assim, procurou-se explicar o que é a RV, uma tecnologia que representa ambientes virtuais através de vários equipamentos que estimulam vários sentidos, sendo que o sentido mais ativo é o da visão. Esta tecnologia permite tornar a experiência o mais autêntica possível. No entanto para se demonstrar algumas das potencialidades da RV foi necessário fazer uma contextualização histórica que nos permitiu saber quais as diferentes tecnologias que existiram até ao aparecimento da RV.

Podemos observar também os vários tipos de equipamentos necessários para aplicar esta tecnologia, como os equipamentos que geram as imagens, os dispositivos de visualização que produzem as imagens e os equipamentos que permitem a navegação e interação com as imagens.

Podemos concluir que a RV imersiva mais que interagir, é a capacidade de sermos transportados para o domínio de uma aplicação. Por fim mostramos algumas áreas onde a RV é aplicada, no mundo empresarial, esfera da educação e no domínio da saúde, bem como nas indústrias criativas e do entretenimento e ainda em manobras militares e dentro da área de estudo desta dissertação, no design e em arquitetura.

Na terceira parte descreveu-se a investigação feita no meio académico, tendo por base a visita de dois laboratórios e participação ativa num *workshop*.

Por fim, procurámos desenvolver uma experiência em RV onde criámos um modelo em 3D que permitiu ao utilizador percorrer todo o modelo conseguindo assim ter uma noção profunda do que seria esse projeto construído na realidade. Como tal foi necessário perceber qual o melhor programa para desempenhar essa função, tendo-se chegado à conclusão que os programas específicos para arquitetura, embora tenham uma boa aplicação na geração de desenhos bidimensionais, não têm a mesma versatilidade para criar um modelo em 3D com o detalhe exigido para a sua manipulação em tempo real.

Pesquisámos programas usados para desenvolver jogos de computador visto a qualidade gráfica ser superior aos programas tradicionalmente aplicados no desenvolvimento de um projeto de arquitetura, ou seja, os programas CAD (*Computer Aided Design*). Deparámo-nos com dois dos principais programas construídos para a geração de cenários virtuais, i.e., o *Unity* e o *Unreal Engine*.

Ao comparar os aspetos positivos e negativos de cada um deles decidimos desenvolver o projeto em *Unreal Engine*. De seguida, foi desenvolvido o modelo virtual da moradia. Embora fosse possível importar um modelo 3D de um programa de arquitetura comum para o *Unreal*, decidimos desenvolver o modelo diretamente em 3D no *Unreal Engine*.

O resultado final desta experiência mostra um modelo que consiste numa moradia unifamiliar do tipo T3 que sofreu constantes evoluções consoante as experiências em RV que foram constatadas durante todo o processo de projeto. O modelo final pôde ser todo percorrido em RV e foi possível escolher o que observar através do uso de um comando e do movimento da cabeça do utilizador. Assim foi possível interagir com o modelo através da possibilidade de abrir e fechar portas e controlar a disposição solar.

Para concluir, foi possível compreender até que ponto a RV pode melhorar ou facilitar o processo criativo no desenvolvimento de um projeto de arquitetura verificando-se que através desta tecnologia é possível criar modelos de uma maquete virtual e conseguir fazer rápidas alterações, tendo sempre uma perspetiva de escala real; comunicar um projeto de arquitetura com bom nível de detalhe em formato digital, em que os materiais simulem a realidade, o ambiente onde o edifício está inserido seja muito semelhante à localização, que o mobiliário seja bem distribuído, e que a relação com o exterior seja equilibrada, contemplando o uso de vegetação proposto.

Todos estes aspetos fazem com que a experiência em RV, sendo nesta fase atual de desenvolvimento, se aproxime da realidade.

Provou-se a portabilidade deste tipo de tecnologia, ou seja, é concebível utilizá-la em qualquer local, basta para tal termos um telemóvel, uns óculos e um comando.

Como é uma tecnologia digital, é fácil prever a possibilidade de mostrar um projeto em RV a um cliente que está localizado noutra parte do mundo.

Não havendo barreiras físicas, torna-se possível a sua aplicação no mercado imobiliário, não sendo necessário a deslocação do projetista ou potencial cliente para uma localização diferente para fruir e adquirir uma propriedade.

Sendo uma aplicação digital vai estar em constante evolução sendo assim é esperado que a qualidade dos resultados em RV melhore, bem como os equipamentos acoplados, ou inclusive que estes mesmos venham a tornar-se cada vez mais despercebidos de modo a que a experiência virtual, o mais real possível, seja realizável sem comandos.

De futuro, temos o objetivo de tornar esta experiência melhor envolvendo também o sentido da audição. A ideia é fazer com que o utilizador desta tecnologia fique o mais imersivo possível e quanto mais sentidos estimularmos mais a experiência se aproxima da realidade. Outro objetivo é, através do uso de um sensor à frente dos óculos, colocar as mãos do utilizador no modelo virtual e assim permitir que este use as próprias mãos para manipular e interagir com o ambiente virtual.

Finalmente, seria interessante remover completamente o uso do comando, colocando, por exemplo, na sola do calçado um botão com ligação por Bluetooth permitindo que cada passada do utilizador no mundo real (numa passadeira rolante, num espaço amplo ou até no terreno da intervenção do projeto) seja transmitida para o mundo virtual.

O mundo da tecnologia evolui de um modo geral por constantes inovações e revoluções, como tal é necessário estar atento e alerta. É fácil perceber que independentemente da área em que se queira integrar, a tecnologia digital permite uma constante evolução dessa mesma área. Em virtude da necessidade de representar em momentos anteriores ao da concretização, a arquitetura é uma área por excelência e através desta tecnologia, é possível melhorar o desenvolvimento e a apresentação de um projeto. Possivelmente no futuro esta tecnologia poderá mesmo alterar a maneira de habitar um espaço.

Bibliografia

- Admincc. (6 de Outubro de 2015). *WHAT IS RHINOCEROS 3D? THE BENEFITS OF RHINO 3D*. Obtido em Setembro de 2017, de CADCULTURE: <http://www.cadculture.com/what-is-rhinoceros-3d-the-benefits-of-rhino-3d/>
- Almeida, D. D. (11 de Dezembro de 2014). *Tecnologia ativa ou passiva? Descubra qual tipo de TV 3D escolher*. Obtido em 30 de Maio de 2017, de Techtudo: <http://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2014/12/tecnologia-ativa-ou-passiva-descubra-qual-tipo-de-tv-3d-escolher.html>
- Amim, R. R. (2007). *Realidade Aumentada aplicada á Arquitetura e Urbanismo*. Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Araujo, B., Mendes, D., Fonseca, F., Ferreira, A., Jorge, J., Figueiredo, B., & Coutinho, F. (2015). Interactive Stereoscopic Visualization of Alberti Architectural Models. *Joelho N°5*.
- Autor. (26 de Fevereiro de 2014). *Primeiros passos no Navisworks*. Obtido em Setembro de 2017, de Revit+: <http://autocad-revit-arquitetura.typepad.com/revitplus/2014/02/primeiros-passos-no-navisworks.html>
- Cardoso et al (2017). Prémio municipal de Arquitectura de Odivelas. https://issuu.com/comunicacaocmo/docs/brochura_-_pr_mio_arquitetura_201
- Coroado, L. (2016). *VISUALIZAÇÃO E INTERAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA: Modos de Visualização para Arquitetura Sistema VIARModes*. Lisboa: ISCTE.
- Coutinho, F. (2014). Gramatica da Forma da Sistematização da Coluna de Alberti. *Departamento de Arquitectura. Faculdade de Ciencia e tecnologia. Universidade Coimbra*.
- Faculdade de Arquitectura de Lisboa. (16 de Março de 2016). *LRV*. Obtido de Laboratorio de Realidade Virtual: <http://lr.v.fa.ulisboa.pt/index.php>
- Faulkner, C. (18 de Abril de 2017). *Opinião Samsung Gear VR*. Obtido em 2 de Julho de 2017, de techradar: <http://www.techradar.com/reviews/samsung-gear-vr-2017>
- Fowle, K. (28 de Janeiro de 2015). *A LOOK BACK AT THE DOOMED VIRTUAL REALITY BOOM OF THE 90S*. Obtido em 26 de Maio de 2017, de KILL SCREEN: <https://killscreen.com/articles/failure-launch/>
- Freitas, M. R., & Ruschel, R. C. (Julho/Dezembro de 2010). Aplicação de realidade virtual e aumentada em. *Arquiteturarevista*, pp. 127-135.
- G. K., & J. R. (2013). *Augmented Reality: An Emerging Technologies Guide to AR*. United Kingdom: British Library.
- Hall, C. (10 de Fevereiro de 2016). *Google Cardboard review: The cornerstone of mobile VR*. Obtido em 28 de Maio de 2017, de Pocket-Lint: <http://www.pocket-lint.com/review/136650-google-cardboard-review-the-cornerstone-of-mobile-vr>
- Hope, C. (26 de Abril de 2017). *C++*. Obtido em 6 de Julho de 2017, de Computer Hope: <https://www.computerhope.com/jargon/c/cplus.htm>

- Hope, C. (26 de Abril de 2017). *Plugin*. Obtido em 6 de Julho de 2017, de Computer Hope: <https://www.computerhope.com/jargon/p/plugin.htm>
- ISTAR-IUL. (23 de Novembro de 2016). *Digital Living Spaces*. Obtido em 24 de Junho de 2017, de ISTAR-IUL: <http://istar.iscte-iul.pt/index.php/VAR#arch4models>
- Landim, W. (12 de Junho de 2010). *Como funcionam acelerômetros e giroscópios?* Obtido em 30 de Maio de 2017, de Tecmundo: <https://www.tecmundo.com.br/celular/4406-como-funcionam-acelerometros-e-giroscopios-.htm>
- Landim, W. (1 de Fevereiro de 2011). *Como funcionam os diferentes tipos de 3D?* Obtido em Setembro de 2017, de Tecmundo: <https://www.tecmundo.com.br/3d/8154-como-funcionam-os-diferentes-tipos-de-3d-.htm>
- Martin, J. (16 de Novembro de 2010). *Kinect Review*. Obtido em 28 de Maio de 2017, de BitGamer: <https://www.bit-tech.net/gaming/xbox-360/2010/11/16/kinect-review/1>
- Martins, P. H. (6 de Outubro de 2015). *O que é Minecraft? Conheça um dos jogos mais populares do mundo*. Obtido em 1 de Julho de 2017, de blasting news: <http://br.blastingnews.com/tecnologia/2015/10/o-que-e-minecraft-conheca-um-dos-jogos-mais-populares-do-mundo-00585487.html>
- Maturana, J. (13 de Maio de 2016). *HTC Vive, análisis: esto sí que es realidad virtual interactiva*. Obtido em 28 de Maio de 2017, de Xataka: <https://www.xataka.com/analisis/htc-vive-analisis-esto-si-que-es-realidad-virtual-interactiva>
- Miranda, M. (28 de Fevereiro de 2017). *The Big List of Virtual Reality Applications for the Enterprise*. Obtido em 2 de Junho de 2017, de Virtualrealitypop: <https://virtualrealitypop.com/the-big-list-of-virtual-reality-applications-for-the-enterprise-1b5573ee05d7>
- Negroponte, N. (1996). *Ser Digital*. Lisboa: Caminho.
- Nguyen, L. (31 de Janeiro de 2017). *Oneplus 3T review*. Obtido em 28 de Maio de 2017, de AndroidAuthority: <http://www.androidauthority.com/oneplus-3t-review-730011/#specs>
- Oficina, R. (16 de Março de 2010). *Blender o que é?* Obtido em 25 de Junho de 2017, de OFICINA DA NET: https://www.oficinadanet.com.br/artigo/criacao_3d/blender_o_que_e
- Palma, L. (14 de Março de 2011). *As Eras da Tecnologia da Informação*. Obtido em 1 de Julho de 2017, de Blog do Palma: <https://lpalma.com/tag/wimp/>
- Pereira, A. P. (18 de Novembro de 2008). *O que é Wireframe?* Obtido em Setembro de 2017, de Tecmundo: <https://www.tecmundo.com.br/programacao/976-o-que-e-wireframe-.htm>
- Pluralsight. (6 de Novembro de 2014). *Unreal Engine 4 vs. Unity: Which Game Engine Is Best for You?* Obtido em Setembro de 2017, de Pluralsight: <https://www.pluralsight.com/blog/film-games/Unreal-Engine-4-vs-unity-game-Engine-best>
- Reis, C. (8 de Agosto de 2017). *O QUE É REVIT?* Obtido em Setembro de 2017, de Plataforma Cad: <http://plataformacad.com.br/o-que-e-revit/>
- Relly, C. (9 de Setembro de 2014). *What is Grasshopper?* Obtido em 9 de Julho de 2017, de Lynda: <https://www.lynda.com/Grasshopper-tutorials/What-Grasshopper/174491/194087-4.html>
- Rouse, M. (Agosto de 2016). *CAVE (Cave Automatic Virtual Environment)*. Obtido em 29 de Maio de 2017, de TechTarget: <http://whatis.techtarget.com/definition/CAVE-Cave-Automatic-Virtual-Environment>
- Rouse, M. (1 de Agosto de 2016). *immersive virtual reality (immersive VR)*. Obtido em 2 de Junho de 2017, de TechTarget: <http://whatis.techtarget.com/definition/immersive-virtual-reality-immersive-VR>

- Rouse, M. (1 de Janeiro de 2017). *Bluetooth*. Obtido em 31 de Maio de 2017, de TechTarget: <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/Bluetooth>
- S. S., & M. A. (28 de Março de 2016). *What is the Oculus Rift?* Obtido em Setembro de 2017, de tomsguide: <https://www.tomsguide.com/us/what-is-oculus-rift,news-18026.html>
- Saçashima, R. E. (2011). *A realidade Aumentada: desafios tecnicos e algumas aplicações em jogos e nas artes visuais*. Brasil: Escola de Comunicação e Artes da Universidade de São Paulo.
- TECHTUDO. (14 de Maio de 2014). *3D Studio Max*. Obtido em 25 de Junho de 2017, de techtudo: <http://www.techtudo.com.br/tudo-sobre/3d-studio-max.html>
- Thomé, B. (8 de Setembro de 2016). *BIM*. Obtido em 25 de Junho de 2017, de Sienge: <https://www.sienge.com.br/blog/voce-sabe-o-que-e-bim-entenda-o-conceito-e-suas-aplicacoes/>
- Turi, J. (16 de Fevereiro de 2014). *The sights and scents of the Sensorama Simulator*. Obtido em 28 de Maio de 2017, de Engadget: <https://www.engadget.com/2014/02/16/morton-heiligs-sensorama-simulator/>
- Vasque, V. (20 de Abril de 2011). *Review Wii Remote*. Obtido em 1 de Julho de 2017, de Techtudo: <http://www.techtudo.com.br/review/wii-remote.html>
- Ware, C. (2004). *Information Visualization*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Weiser, M. (1994). *The world is not a desktop*. New York: John Rheinfrank.
- Zamojc, I. (17 de Maio de 2012). *Introducion to Unity3D*. Obtido em Setembro de 2017, de Envatotuts: <https://code.tutsplus.com/tutorials/introduction-to-unity3d--mobile-10752>