



Tiago Martins Andrade

LOCOMOÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL

Dissertação de Mestrado na área científica de Engenharia Informática, especialidade Engenharia de Software, orientada pelo Professor Doutor Mário Alberto da Costa Zenha-Rela e o pelo Thomas Joris Papa da Mimicry Games e apresentada ao Departamento de Engenharia de Informática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Julho de 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Mestrado em Engenharia Informática
Dissertação/Estágio
Relatório Final
2016/2017

Locomoção em Realidade Virtual

Tiago Martins Andrade

tandrade@student.uc.pt

Orientadores:

Mário Zenha-Rela

mzrela@dei.uc.pt

Thomas Papa

Thomas@mimicrygames.com

Júris:

Pedro Abreu

pha@dei.uc.pt

Marco Vieira

mvieira@dei.uc.pt

03 de julho de 2017



FCTUC DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA INFORMÁTICA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Agradecimentos

Aos meus pais, pela oportunidade que me deram de realizar este mestrado e pelo apoio e força incondicional que me deram para seguir os meus sonhos. À minha irmã, por se interessar pelo projeto e por me ouvir falar sobre realidade virtual todos os dias.

À Andreia, pelos conselhos de design do documento e por aturar todas as minhas "lamúrias", dando-me o apoio e amor para continuar e fazer melhor.

Ao meu primo, António Gomes, pelo esforço, disponibilidade e paciência, até aos últimos momentos, na sua ajuda imprescindível na correção do meu português. Tornando a distância aqui tão perto.

Ao Thomas e Daniela da Mimicry Games, por me acolherem de forma tão especial, pela disponibilidade e acompanhamento, e por me proporcionarem um estágio tão completo e de forma tão atenciosa.

Ao meu orientador, Mário Zenha-Rela, pelo apoio fantástico nas decisões e ajuda na concretização desta dissertação e pela sua sempre boa disposição.

A todos os meus amigos "Muguis" que me aturaram nos momentos difíceis, me ouviram falar horas sem fim sobre o meu projeto, que me fizeram rir e me ajudaram a desanuviar a cabeça. Em especial fica um agradecimento ao Daniel, pela motivação e pela ajuda através "do seu olhar" visualizando diferentes perspetivas, ajudando-me assim a avançar na escrita deste documento.

Muito obrigado a todos,

Tiago Andrade

Abstract

New virtual reality devices have generated a growing enthusiasm for the use of this technology among the general public. Furthermore, the possibility for its application in various domains of human actions has increased exponentially in areas such as medicine, architecture, marketing or skills training.

Virtual reality is a type of technology that allows users to simulate real sensations in digitally generated environments. Moreover, it eliminates dangerous situations by creating an imaginary world that enables new skills training and new forms of entertainment. Thus, this technology presents great advances in terms of realism and easy-to-use interfaces. However, it still has some constraints such as motion sickness, locomotion difficulties in virtual environments and a high cost for the general public.

This dissertation aims to conduct an experimental study in which a virtual environment and three types of locomotion were developed. For each type of locomotion, a specific attribute was defined: velocity, acceleration and rotation. Data were collected from 45 volunteers regarding levels of motion sickness through the Simulation Sickness Questionnaire (SSQ).

After analysing and reflecting on the collected data, a set of recommendations was created for future development of VR applications/games.

Keywords

Virtual Reality, Locomotion, Head Mounted Display, Motion Sickness, Simulation Sickness Questionnaire, Game Engines, Interaction techniques, Experimental Study

Resumo

Novos equipamentos de realidade virtual têm trazido um novo entusiasmo, do público em geral, pela utilização desta tecnologia. Também as possibilidades para a sua aplicação em vários domínios da ação humana têm surgido de forma exponencial, tais como em áreas relacionadas com medicina, arquitetura, marketing, ou treino de competências.

A realidade virtual é uma tecnologia que permite simular/recriar no utilizador sensações reais em ambientes gerados digitalmente, eliminando situações que possam apresentar-se como perigosas, bem como recriar mundos imaginários, possibilitando o treino de novas competências ou novas formas de entretenimento. Apesar de esta tecnologia ter grandes avanços em termos de realismo e facilidade de utilização, ela apresenta ainda alguns constrangimentos, nomeadamente sensação de enjôo de movimento, dificuldades de locomoção no ambiente virtual, e custos demasiado elevados para o consumidor em geral, entre outros.

Assim, foi realizado um estudo experimental para o qual se desenvolveu um ambiente virtual e três tipos de deslocação. Para cada tipo de deslocação foi definido um atributo específico: velocidade, aceleração e rotação. Neste âmbito foram recolhidos dados de 45 participantes relativos à cinetose através do Simulation Sickness Questionnaire (SSQ).

Após análise dos dados e reflexão sobre os mesmos, estruturou-se um conjunto de recomendações a ter em linha de conta no desenvolvimento futuro de aplicações/jogos de VR.

Palavras-chave

Realidade Virtual, Locomoção, Head Mounted Display, Cinetose, Enjoos de movimento, Motor de jogo, Técnicas de Interação, Estudo experimental, Simulation Sickness Questionnaire

Índice

Capítulo 1. Introdução	1
1.1. Motivação	2
1.2. Objetivos	2
1.3. Entidade acolhedora	3
1.4. Trabalho realizado	4
1.5. Estrutura do documento	4
Capítulo 2. Estado da arte	7
2.1. Definição da realidade virtual	7
2.2. Análise de dispositivos	11
HTC Vive	11
Oculus Rift	13
PlayStation VR	15
Gear VR	16
DayDream	17
Comparações finais e Conclusões	18
2.3. Análise da tecnologia	20
Unreal Engine	20
Unity3D	22
CryEngine	23
Conclusões	23
2.4. Análise de técnicas de interação para VR	23
2.5. Virtual reality sickness	25
2.6. Efeitos da exposição à VR	27
2.7. Medição de "Sickness"	28
Medidas objetivas	29
Medidas subjetivas	30
2.8. Hipóteses de locomoção	33
VR Comfort Mode	33
Roomscale Locomotion	33
Walking-in-place	35
ArmSwinger	36
Point and Click Teleport	37
Tunneling	38
Pull/Climbing	40
Cockpit	41
Holosphere	42
Roomscale Vehicle	42
Floating Head (Third-Person)	43
Snap N'Motion	43
Capítulo 3. Metodologias e planeamento	45
3.1. Metodologias	45
3.2. Riscos	45
3.3. Planeamento	48

Capítulo 4. Conceção e realização da experiência	51
4.1. Design da experiência	51
Cenário	51
Tipo de deslocação 1.....	55
Tipo de deslocação 2.....	56
Tipo de deslocação 3.....	57
Recolha de dados	59
Tarefa	62
Medida de segurança	62
Realização da experiência	62
Capítulo 5. Testes, resultados e análise	65
5.1. Logística e equipamento	65
5.2. Preparação	65
5.3. Participantes.....	66
5.4. Resultados e análise	69
Análise do número de participantes e desistências	69
Análise em relação ao género	71
Análise em relação aos que sentem previamente cinetose	73
Análise em relação à idade	75
Análise em relação à experiência prévia com VR.....	77
Análise final	79
Capítulo 6. Conclusão e trabalho futuro	85
Referências	89
Anexo A. 1º Artigo: Creating a basic VR demo using Unreal	93
Anexo B. 2º Artigo: VR games & apps—Where to sell?	103
Anexo C. Guia experimental	111
Anexo D. Consentimento informado.....	119
Anexo E. Non-Disclosure Agreement	121
Anexo F. Apresentação das tabelas do CVS.....	123
Anexo G. English Version of this Thesis	124

Lista de Figuras

Figura 1 - Componentes do HTC Vive	11
Figura 2 - Oculus Rift HMD e câmara de tracking	13
Figura 3 - Oculus Touch	14
Figura 4 - PlayStation VR.....	15
Figura 5 - Gear VR.....	16
Figura 6 - Dispositivo Daydream da Google.....	17
Figura 7 - Técnicas de interação em VR.....	24
Figura 8 - Ilustração dos tipos de rotação	27
Figura 9 - Cálculo da pontuação SSQ[43]	32
Figura 10 - Representação do Roomscale (HTC Vive)	34
Figura 11 - Representação do Walk-in-place	35
Figura 12 - Representação do ArmSwinger	36
Figura 13 - Representação do Point and Click Teleport	37
Figura 14 - Representação do Tunneling.....	38
Figura 15 - A técnica Tunneling aplicada no jogo Eagle Flight.....	39
Figura 16 - Técnica Climbing aplicada no jogo Climb da Crytek.....	40
Figura 17 - Técnica Cockpit aplicada no jogo EVE: Valkyrie (CCP Games, 2016).....	41
Figura 18 - Representação da técnica Holosphere	42
Figura 19 - Calendário do plano de trabalho.....	49
Figura 20 - Cenário da experiência	51
Figura 21 - Representação do percurso	52
Figura 22 - Primeira secção: linha reta	53
Figura 23 - Segunda secção: curvas de 90°.....	53
Figura 24 - Terceira secção: curvas de 135°.....	53
Figura 25 - Detalhes do cenário.....	54
Figura 26 - Modelo do tipo de deslocação 2.....	56
Figura 27 - Gráfico da aceleração função do tempo.....	57
Figura 28 - Modelo do tipo de deslocação 3.....	58
Figura 29 - Modelo do sistema de cordas.....	59
Figura 30 - Questionário de informação pessoal	60
Figura 31 - Simulation Sickness Questionnaire	61
Figura 32 - Questionários de preferência	61
Figura 33 - Esquema do comando com a indicação de segurança.....	62
Figura 34 - Ordem cronológica da execução dos testes.....	63
Figura 35 - Género dos participantes	66
Figura 36 - Número de participantes por idade.....	67
Figura 37 - Sente cinetose quando joga	67
Figura 38 - Percentagem dos participantes que já experimentaram realidade virtual	68
Figura 39 - Percentagem de desistências	68
Figura 40 - Gráficos dos testes com a aplicação da LGN	70
Figura 41 - Gráficos dos valores de TS em relação ao género	72
Figura 42 - Gráficos dos valores de TS em relação aos que sentem previamente cinetose.....	74

Figura 43 - Gráficos dos valores de TS em relação à idade	76
Figura 44 - Gráficos dos valores de TS em relação à experimentou prévia com VR	78
Figura 45 - Gráfico das médias totais das 3 deslocções	79
Figura 46 - Gráfico da Média de TS entre os testes de velocidade.....	80
Figura 47 - Gráfico da Média de TS entre os testes de aceleração.....	81
Figura 48 - Gráfico da Média de TS entre os testes de rotação	81
Figura 49 - Gráfico das Médias de TS de todos os testes	82

Lista de Tabelas

Tabela 1 - HTC Vive Requisitos mínimos	12
Tabela 2 - Oculus Rift requisitos mínimos	13
Tabela 3 - Características da consola PlayStation.....	15
Tabela 4 - Características dos telemóveis Samsung	16
Tabela 5 - Características dos telemóveis Google Pixel	18
Tabela 6 - Comparações entre dispositivos	19
Tabela 7 - Risco A	46
Tabela 8 - Risco B	46
Tabela 9 - Risco C	47
Tabela 10 - Risco D	47
Tabela 11 - Matriz de exposição aos riscos.....	47
Tabela 12 - Dados do questionário de informação pessoal	69
Tabela 13 - Tabela representativa dos participantes desistentes	71

Lista de Acrónimos

AR - Augmented Reality
FPS - Frames per second
HMD - Head Mounted Display
LGN - Lei dos Grandes Números
MSI - Motion Sickness Incidence
MSQ - Motion Sickness Questionnaire
SSQ - Simulation Sickness Questionnaire
VPL - Virtual Programming Lab
VR - Virtual Reality

Glossário

Cinetose - Termo genérico aplicado às perturbações provocadas por movimentos inabituais, como por exemplo náuseas e enjoos sentidos ao viajar em transportes.

Crowdfunding (financiamento colaborativo) - Modalidade de investimento onde várias pessoas podem investir pequenas quantidades de dinheiro num negócio ou ideia.

Dry run - Processo de testes onde os efeitos de uma possível falha são mitigados intencionalmente.

Envolvimento - Exploração de um ambiente virtual.

Experiência - Sessão completa, realizada por um utilizador/jogador, participante numa interação com o mundo virtual.

Frames per second (frames por segundo) - Unidade de medida utilizada geralmente nos ecrãs ou televisores, medindo a frequência que um dispositivo de processamento de imagem consegue reproduzir num segundo.

Head Mounted Display - Dispositivo usado na cabeça ou parte de um capacete ou óculos que possui um pequeno ecrã em frente, para um ou os dois olhos.

Imersão - Percepção, por parte do utilizador, de que o mundo virtual é real e que permite uma ação e interação entre o próprio e os diferentes elementos que constituem esse meio.

Interação - O utilizador manipula objetos virtuais.

Killer-app - Uma aplicação/programa que, de forma intencional ou não, induz o consumidor a decidir na compra do equipamento em que essa mesma aplicação corre/funciona.

Lei dos grandes números - Mediana aritmética dos resultados tende a aproximar-se do valor real quando se repete várias vezes a mesma experiência. Através de experiências suficientes é possível descobrir a probabilidade de um evento natural, ou de uma fracção de uma população, satisfazer uma certa condição.

Locomoção - Deslocação/ação do utilizador no mundo virtual.

Motion sickness - Idêntico à definição de cinetose.

Realidade virtual - Tecnologia avançada que permite recriar a sensação de realidade em ambientes virtuais imersivos e em tempo real, através do uso de técnicas e equipamentos digitais, por parte do utilizador.

Roomscale - Termo para definir uma área/espaço onde é possível a movimentação, durante a utilização da VR.

Scope - Âmbito/dimensão do projeto.

Tracking - Termo usado para definir acompanhamento e localização de um dispositivo, objeto ou indivíduo.

Timings - Períodos temporais do projeto.

Capítulo 1. Introdução

A presente dissertação pretende descrever o trabalho realizado no âmbito do estágio, integrado no plano de estudos do Mestrado em Engenharia Informática, no ramo de Engenharia de Software, sobre o tema da "Locomoção em Realidade Virtual". Este decorreu ao longo do ano letivo de 2016/17, sob a orientação do Professor Doutor Mário Alberto da Costa Zenha-Rela e de Thomas Joris Papa.

O tema "Realidade Virtual (**VR**)" encontra-se, no presente momento, no centro das atenções de um número bastante diversificado de interessados, representantes de diversas áreas de intervenção desde investigadores, consumidores, industriais e grandes marcas tecnológicas.

Os conceitos base que definem **VR**, bem como toda a sua evolução/desenvolvimento já datam dos anos 1950, no entanto, nos últimos anos têm-se observado grandes avanços tecnológicos aplicados às mais diversas áreas de atividades, a saber: entretenimento, medicina (com aplicações e/ou simulações de terapêuticas clínicas), treinos militares (com simulações de atividades complexas e específicas), marketing, entre outros. Além disso, tem despertado o interesse de novas empresas, nomeadamente a Valve, Oculus V.R., Sony e Google. Dado o seu cariz tecnológico, estas têm mostrado empenho em desenvolver novos e melhores dispositivos (capítulo 2.2), permitindo grandes avanços na forma de abordar e utilizar a **VR**.

Para utilizar a **VR** será necessário reunir várias condições (capítulo 2.1), que permitam ao utilizador a perceção de se "sentir" integrado ou imerso no mundo virtual e poder interagir com o mesmo, como se da realidade se tratasse. Tal facto tem gerado grandes desafios, bem como vastas oportunidades de desenvolvimento e criação de formas inovadoras de utilizar esta "ferramenta" nos mais diversos meios/ambientes, alargando, cada vez mais, o leque da sua capacidade de utilização.

Tendo em conta a temática-alvo do presente estudo "Realidade Virtual", bem como a complexidade do universo de investigação relativo à Engenharia de Software, seria de todo impossível abordar, na sua generalidade, num trabalho desta natureza, todo o universo teórico-prático e todos os conceitos e aplicações possíveis de forma exaustiva. Assim sendo, este trabalho centrou-se na elaboração de um estudo experimental, recolha e análise de dados sobre diferentes formas de locomoção em **VR** e, em particular, no que se refere às dificuldades de utilização e efeitos (percecionados como menos agradáveis) sobre os utilizadores, de forma a ser possível construir propostas e soluções, no sentido de ultrapassar os constrangimentos identificados, tornando o uso da **VR** mais confortável e minimizar os seus efeitos e limitações.

1.1. Motivação

Por ser uma tecnologia emergente, há um vasto mercado em aberto por explorar, não existindo ainda muito conteúdo feito para os vários dispositivos, nem uma **killer-app** (uma experiência ou jogo que induza o consumidor a decidir comprar um equipamento de **VR**) [1].

Por outro lado, a utilização da **VR** apresenta, ainda, vários desafios por ultrapassar, tais como: interação do utilizador com o mundo virtual, construção de narrativas, percepção espacial do áudio, **tracking** dos movimentos do utilizador, entre outros. Mas com especial interesse/importância aos desafios, ainda por ultrapassar, no que se refere às limitações na locomoção do utilizador no mundo virtual.

Alguns dos efeitos, para o utilizador, durante a sua experiência imersiva em **VR**, no que se refere à locomoção neste “meio”, podem traduzir-se como: sensação de enjoos ou náuseas (cinetose), dificuldades sentidas em conseguir perceber os limites do espaço real circundante durante a experiência imersiva ou como lidar com a diferença entre o movimento real e a sua tradução para movimento virtual, de forma a não se tornar excessivo e/ou “perigoso” para o próprio, entre outros. Podem apresentar-se como problemas que têm causado dificuldades na utilização, por parte do consumidor final e que, por si só, constituem um enorme desafio na sua resolução. Deste modo, quando forem ultrapassados, poderão possibilitar uma mais fácil utilização, facultando a adoção desta tecnologia a um maior número de pessoas/utilizadores. Daí a especial escolha, pela presente temática, como foco principal desta dissertação.

Para que a utilização da **VR** se possa generalizar e expandir a mais domínios da atividade humana e para que seja possível dar um “novo passo” no desenvolvimento desta “ferramenta”, acreditamos ser imperativo que se consigam criar soluções para os problemas identificados, no que respeita à locomoção. Principalmente, num momento em que começa a surgir grande interesse, por parte do público em geral, cada vez mais exigente e expectante, por novas experiências conseguidas com tecnologia de vanguarda.

1.2. Objetivos

O principal objetivo desta dissertação foi realizar um estudo experimental sobre os efeitos da locomoção em ambientes de **VR**. A partir deste pretende-se aferir e “encontrar” os valores de conforto para o utilizador, no que se refere aos parâmetros de velocidade, aceleração e rotação na deslocação. Desta forma, foi realizada uma pesquisa sobre hipóteses de locomoção já existentes e aplicaram-se alguns dos seus conceitos na criação de experiências. Por sua vez, as situações experimentais criadas tiveram como objetivo realizar testes em ambiente real, num universo de utilizadores, para recolha e análise de dados/resultados de forma a, mais tarde, esses resultados serem aplicados

num jogo interativo, a ser implementado e comercializado, pela empresa acolhedora deste estágio. Sendo que, relativamente à possível construção de um jogo, este ficará fora do âmbito desta dissertação, devido ao tempo necessário para a sua execução, que ultrapassaria em muito o prazo de realização do presente estágio, ficando assim, sob responsabilidade e direitos autorais da empresa acolhedora.

Importante será salientar que o presente trabalho na sua estrutura dará essencialmente enfoque a todo o processo de investigação desenvolvido com o objetivo dirigido a um universo limitado de utilização desta “ferramenta”. Nomeadamente, estudar os efeitos da cinetose, nos utilizadores, nos parâmetros já referidos. Limitou-se, desta forma, o vasto e abrangente universo de possibilidades de investigação, aplicações e desenvolvimentos que, pela sua abrangência, tornariam a tarefa difícil de controlar e de realizar neste âmbito, devendo esses serem alvo de outros trabalhos de investigação específicos.

Refira-se ainda que este trabalho se orientou, sobretudo no sentido de realizar e concretizar ambientes virtuais que permitiram a utilização experimental, com a necessária avaliação, realizada por utilizadores reais e em tempo real. Possibilitando assim a obtenção de valores de Simulation Sickness dos participantes do estudo (Capítulo 5). Partiu-se do pressuposto de se apresentarem soluções concretas para as dificuldades que a utilização da **VR** ainda apresenta, de momento, tal como já fora descrito, anteriormente, de forma sumária.

1.3. Entidade acolhedora

O estágio foi realizado na empresa Mimicry Games, entidade vocacionada para o desenvolvimento de jogos em Realidade Virtual e Software, fundada em 2012, por Thomas Papa e Daniela Fontes. Sediada em Leusdan – Holanda, com um estúdio de desenvolvimento na Nest Collective e mais recentemente no Instituto Pedro Nunes na cidade de Coimbra, esta empresa permitiu, na sua atividade, o acesso a vários dispositivos de **VR**, e desenvolveu grande proximidade entre os colaboradores. Dando todo o apoio necessário para uma melhor compreensão acerca desta tecnologia e todas as suas possíveis aplicações, desenvolveu, igualmente, um consistente e forte acompanhamento, na realização desta dissertação.

1.4. Trabalho realizado

Ao longo deste estágio, durante o ano letivo de 2016/17, uma experiência foi planeada, três métodos de locomoção foram desenvolvidos e testados, e os dados recolhidos foram analisados.

Realizou-se a pesquisa bibliográfica tendo em vista a recolha de suporte científico para enquadramento do estado da arte, bem como se procedeu à sua análise e elaboração de algumas reflexões sobre o tema. Igualmente, fez-se um levantamento sobre várias hipóteses de locomoção, apresentando-se as suas vantagens e desvantagens.

Em adição, e durante a pesquisa do Estado da arte e aprendizagem na utilização da ferramenta Unreal Engine, foram produzidos dois artigos de opinião publicados na plataforma *Medium.com*. Estes permitiram colmatar a falta de informação, sobre o desenvolvimento em **VR**, existente até aquele momento. Sendo que o primeiro artigo (Anexo A) descreve o processo de como desenvolver experiências em **VR**, para iniciantes. Este artigo conta com 5500 visualizações até ao momento. O segundo artigo (Anexo B) identifica as plataformas e lojas online disponíveis para a distribuição de conteúdos **VR**, tendo obtido 1000 visualizações até ao momento.

Na realização do estudo experimental, foi formulado o desenho da experiência que originou um guia experimental (Anexo C). Este possibilita a replicação da experiência em pesquisas ou trabalhos futuros.

Concluídos os testes, foi realizada uma análise aos dados obtidos, tendo em conta a idade do público-alvo, o género, a referência relativa à experiência de utilização da **VR** e as sensações de cinetose enquanto utilizadores de jogos de computador. Assim obtiveram-se os níveis de Simulation Sickness (Capítulo 2.7) para cada variante da velocidade, aceleração e rotação, que permitiram verificar e apurar quais os melhores valores para cada parâmetro (valores ideais), bem como permitiram construir hipóteses/observações a ter em conta em futuros desenvolvimentos.

1.5. Estrutura do documento

O presente trabalho encontra-se dividido em diferentes capítulos, que passamos a descrever:

O primeiro capítulo, relativo à Introdução, contém uma breve descrição acerca do projeto, o âmbito do seu desenvolvimento, os principais fatores motivacionais para a sua realização, enquadramento, objetivos e um resumo do trabalho realizado nesta dissertação.

No segundo capítulo é apresentado e descrito o Estado da arte. Neste capítulo apresentam-se os momentos históricos considerados, como os mais relevantes, pela sua contribuição na definição atual da **VR**, bem como na

evolução dos vários dispositivos que estão, hoje em dia, disponíveis e acessíveis para utilização, nas mais diversas aplicações. É igualmente apresentado um conjunto de tecnologias que dão suporte à **VR**. É ainda, apresentada uma exposição relativa a outros estudos experimentais, indicando os efeitos da cinetose, os métodos utilizados para medição dos níveis de cinetose e possíveis formas de reduzir esses mesmo efeitos. Os vários conceitos de interação, bem como, se apresentam as vantagens e desvantagens de hipóteses de locomoção já existentes.

Dedicamos o terceiro capítulo às Metodologias, nomeadamente as que foram adotadas para a realização e concretização dos objetivos propostos, bem como uma análise dos riscos do desenvolvimento deste estudo e as suas mitigações. A terminar, uma apresentação do planeamento de todo trabalho com a respetiva calendarização.

O quarto capítulo é constituído pela descrição de toda a experiência desenvolvida para o presente estudo experimental. É descrito o design do cenário, os vários tipos de deslocação desenvolvidos, a criação de questionários para recolha de dados, a definição de tarefas a realizar pelos participantes, bem como a criação de uma medida de segurança a utilizar, caso haja necessidade de terminar a experiência prematuramente e ainda todo o processo e conjunto de teste que constituíram a experiência.

O quinto capítulo é relativo às questões logísticas e a toda a preparação necessária à realização das várias fases do estudo experimental. É apresentada uma análise das características dos participantes que realizaram os testes, bem como são apresentados e analisados os dados recolhidos pelos questionários.

O último capítulo é constituído pelas conclusões retiradas do presente estudo experimental, integrando uma reflexão acerca de todos os dados recolhidos de forma a elaborar um conjunto de recomendações, a ter em linha de conta no desenvolvimento de futuras aplicações e jogos em **VR**.

Capítulo 2. Estado da arte

Neste capítulo, são abordados os temas relevantes ao enquadramento e âmbito do tema tratado nesta dissertação.

Primeiro é efetuada uma descrição e definição do termo Realidade Virtual (**VR**), assim como é apresentado um pequeno historial sobre a evolução da **VR**, das suas características e dos seus problemas/desafios.

Seguidamente são listados vários dispositivos que, de momento, se apresentam como relevantes ou populares. Apresentam-se as suas características e funcionalidades específicas. Finaliza-se com uma comparação geral entre todos, apresentando-se as razões pela escolha do HTC Vive.

A terceira parte deste capítulo, debruça-se sobre as tecnologias existentes e, mais frequentemente, utilizadas para trabalhar com **VR**. Uma comparação entre as mesmas e a escolha da tecnologia mais adequada, tendo em conta o contexto da presente dissertação.

É, ainda, apresentado um estudo sobre técnicas de interação, bem como uma reflexão acerca da sensação de enjoo/náusea que a utilização da **VR** pode provocar nos utilizadores, indicando os efeitos negativos da manifestação dos sintomas de cinetose e as várias técnicas de medição da mesma.

Para finalizar, foi listado um conjunto de hipóteses elaboradas ao longo dos últimos anos, acerca de como reduzir os inconvenientes da utilização da **VR**, por parte do utilizador. Foi sobre estas hipóteses que se realizou a presente reflexão e se criaram experiências para testar e validar resultados, sendo que esses resultados deverão permitir construir aplicações futuras mais confortáveis.

2.1. Definição da realidade virtual

Pensa-se ser natural no ser humano, a tentativa de fugir à rotina do dia-a-dia, criando realidades/ficções, podendo estas serem de origem artística, profissional, cultural ou, até mesmo, só para efeitos de lazer/distração. Pode-se mesmo afirmar que a "realidade virtual" (como conceito abstrato) já acompanha a humanidade desde os primeiros desenhos dos tempos do Paleolítico, em que o "homo sapiens" já tentava representar a realidade do seu quotidiano, através de pinturas murais com cenas/narrativas que pretendiam reproduzir situações reais[2]. Assim se induzia ao espectador a sensação de ação e movimento nos traços e em que o narrador se encontrava integrado na própria ação.

Com o avançar dos tempos, foram surgindo novas formas de representação do mundo/realidade, sendo elas auditivas e/ou visuais, utilizando a pintura, a fotografia, através de concertos musicais ou, até mesmo, da realização cinematográfica (utilizando-se a combinação entre sons e imagens). Todas estas representações da realidade acabam por envolver o ser humano como espectador desses mundos. Assim, este pode assistir (com menor ou maior envolvimento, de acordo com a qualidade da técnica utilizada, ou com menor ou maior grau de utilização/sensibilização dos vários órgãos dos sentidos) aos acontecimentos e perspectivas das personagens ou mensagens que se pretendem transmitir, sempre numa perspectiva de espectador não interveniente na narrativa [3].

Ao longo de vários anos e, no acumular de pequenas conquistas, este conceito começou a ganhar forma, na década de 50, com o surgimento do Sensorama, criado por Morton Heilig. O Sensorama era constituído por uma cabine que simulava todas as sensações e ativava todos os sentidos (nomeadamente a visão, a audição e o olfato), bem como a percepção cinestésica¹. Disponha ainda de um ecrã estereoscópico, ventoinhas, geradores de cheiros e cadeira vibratória, com o intuito de permitir ao utilizador imergir totalmente no filme [4].

Nos anos seguintes apareceram os primeiros *Head Mounted Displays* (**HMD**) (óculos de realidade virtual).

Até então, mesmo com estes avanços, ainda não existia um termo que identificasse e definisse esta tecnologia. Em 1987, é criado o termo "realidade virtual", sendo a sua autoria atribuída a Jaron Lanier, fundador da empresa *Visual Programming Lab* (**VPL**) [5].

Entre 1950 e 2000, várias foram as ideias e dispositivos desenvolvidos para **VR** por empresas como a Sega, Nintendo e a Virtual Group que, no entanto, não obtiveram sucesso significativo. As principais razões para o insucesso deveram-se às próprias limitações do poder computacional da época [3] [4] e dos custos do seu fabrico que, por serem bastante elevados, impossibilitava a sua adoção e tornava difícil o acesso por parte do consumidor final [1] [3].

Nos últimos cinco anos, tem-se assistido a um entusiasmo crescente por esta vertente. Novas empresas, tais como Valve, Oculus V.R., Sony, Google, entre outras, têm desenvolvido novos dispositivos, alguns dos quais serão alvo do nosso estudo no subcapítulo seguinte (Capítulo 2.2).

¹ Cinestesia – Percepção do equilíbrio e da posição das várias partes do corpo, que por sua vez, proporciona a sensação e percepção do movimento.

A **VR**, neste momento, ultrapassa a barreira do entretenimento, para a qual foi inicialmente desenvolvida (filmes e jogos), conquistando outros domínios da ação humana, tais como [1] [4] [5]:

- Educação;
- Marketing;
- Turismo;
- Arquitetura;
- Eventos ao vivo;
- *Web browsing* [6];
- Simulações e treinos militares;
- Diagnósticos, cirurgias, tratamentos clínicos e terapêuticos, simulações e treino médico [7].

Estas são, somente algumas enumerações das imensas possibilidades em que a **VR** poderá ser aplicada, conseguindo apresentar-se como a “ferramenta” do futuro.

Identifiquemos o propósito/objetivo da realidade virtual (**VR**). Para tal, cito a seguinte afirmação:

The purpose of virtual reality is to make possible a sensorimotor and cognitive activity for a person (or persons) in a digitally created artificial world, which can be imaginary, symbolic or a simulation of certain aspects of the real world.

(Citado no livro 3 que cita – Fuchs 1996, CRTCV 2004).²

Fuchs descreve dois elementos importantes do propósito/objetivo da **VR**. O primeiro refere-se à possibilidade de se estabelecerem interações entre o utilizador e um mundo artificial criado digitalmente, envolvendo a atividade cognitiva e sensoriomotora daqueles. O segundo elemento indica a diversidade de origens desses mundos virtuais postos em “jogo” que, não sendo meras cópias do mundo real, poderão, no entanto, envolver três contextos:

- Simulação de certos aspetos do mundo real
Há necessidade de se realizarem simulações de certos aspetos do mundo real uma vez que, se por um lado não é possível transpor toda a realidade para o mundo virtual, por outro lado, o efeito da simulação poderá permitir a experiência aproximada controlada de um ambiente de treino, sem os fatores reais de risco e perigo para o utilizador. Pode ser utilizado para testar novos ambientes, novos produtos ou situações possíveis, mas de difícil concretização por não existirem ainda na realidade ou se poderem tornar demasiado perigosas ou traumáticas. Possibilita, ainda, o treino de comportamentos mais eficazes e adequados, bem como a prevenção de comportamentos de risco para o utilizador.

² Tradução da citação: O objetivo da realidade virtual é tornar possível uma atividade sensoriomotora e cognitiva para uma pessoa (ou pessoas) de um mundo artificial criado digitalmente, que pode ser imaginário, simbólico ou uma simulação de certos aspetos do mundo real.

- **Mundo Simbólico**
Possibilita o uso de representações simbólicas para facilitar a compreensão das experiências postas em jogo no mundo simulado. Ou seja, ajuda a compreender as representações do mundo virtual. Por exemplo, através do uso da mudança de cor de um determinado objeto, podendo traduzir-se por situação de perigo iminente.
- **Mundo imaginário**
A virtualidade é usada para criar um mundo imaginário, de ficção, podendo não respeitar as regras e normas da realidade, desde a aparência dos seres e objetos até às regras da física, por exemplo, bem como o que é considerado convencional e/ou possível e concretizável.

Assim, uma das definições de **VR** poderá ser: a habilidade de transportar o utilizador para outro local, em que a experiência é totalmente imersiva, possibilitando a sua interação e comunicação com um “meio envolvente” produzido digitalmente e possibilitando, ainda, a observação dos efeitos/consequências das suas ações/interações.

Hoje em dia, com a evolução da tecnologia e da informática, é possível criar mundos virtuais com os quais o ser humano pode interagir, não como mero espectador mas como ator, implicando que passe a fazer parte desse mundo, com a possibilidade não só de interagir, mas também de observar os efeitos dessa mesma ação [3], [8]–[10].

Para que tal possa acontecer é necessário cumprir certas características que Brenda Laurel³ defende como fundamentais para se produzir totalmente uma experiência em **VR** [9]:

- Existir um ambiente totalmente envolvente ao utilizador (imersão);
- O utilizador ser capaz de ver esse ambiente através dos movimentos naturais da cabeça e olhos (olhar para cima, para baixo e para os lados, rodar a 360º);
- O utilizador ser capaz de se movimentar livremente no ambiente;
- O utilizador ser capaz de perceber o mundo em 3D (reconhecendo objetos e distâncias);
- O utilizador ser capaz de ter percepção de *motion parallax*⁴;
- Referenciar espacialmente o áudio nesse ambiente;
- Diferenciar o movimento do olhar do movimento de andar;
- Gestos e movimentos naturais;
- Construção de narrativas de forma dinâmica, onde o utilizador “cria a sua história”.
- O princípio da ação⁵.

³ Brenda Laurel – Pioneira no desenvolvimento da realidade virtual, tendo começado a sua carreira na empresa Atari em 1979. Mais tarde, fez parte do *Atari Systems Research Laboratory*, em 1982, iniciando-se na **VR** [8].

⁴ Motion parallax – Percepção do movimento, em que objetos mais próximos parecem mover-se mais rapidamente, enquanto que os mais longe parecem estar quase parados.

⁵ O princípio da Ação - O utilizador deve poder realizar ações, no mundo virtual, e verificar os efeitos dessa mesma Ação.

Para poder garantir estas características e alcançar o efeito desejado, é necessário aplicar várias tecnologias, tais como: ecrãs estereoscópicos, **HMD**, sensores de movimento (implicando giroscópios, acelerómetros e **trackers**), *input devices* (como comandos de jogos, sensores de *input*, **trackers** de mão e corpo), software frameworks, ferramentas de desenvolvimento [1], entre outras.

2.2. Análise de dispositivos

Como já referido anteriormente, muitas empresas têm mostrado grande interesse acerca deste domínio e têm produzido diversos dispositivos destinados ao público em geral. Cada dispositivo apresenta características específicas: uns tentam solucionar problemas existentes na **VR** (criando soluções de movimento ou de resolução maiores), e outros tentam agradar ao público-alvo (criando dispositivos mais baratos).

Neste subcapítulo apresentam-se os dispositivos existentes, até ao momento, e que se consideram mais relevantes ou populares. Apontam-se as suas características e pontos fortes. Faz-se uma comparação entre todos e, por fim, justifica-se a razão da escolha de um dispositivo em particular. O dispositivo escolhido será utilizado para o desenvolvimento da experiência.

Não serão mencionados dispositivos de realidade aumentada (**AR**), como por exemplo, HoloLens (dispositivo da Microsoft), por apresentarem características fora do âmbito (*scope*) da presente dissertação.

HTC Vive



Figura 1 - Componentes do HTC Vive

Fonte: <https://www.oculus.com/press-kit/hardware/>

Este produto foi desenvolvido em colaboração entre a Valve e a HTC, e foi lançado em Abril de 2016. O HTC Vive é constituído por um *Head Mounted*

Display (HMD), dois sensores de **tracking** (chamados *lighthouse base stations*) e dois comandos de movimento.

O **HMD** possui dois ecrãs de 1080x1200 de resolução para cada olho (sendo 2160x1200 no total), com uma taxa de atualização de 90Hz.

Para poder usar o equipamento é necessário estar ligado a um computador e utilizar o suporte da plataforma Steam (plataforma de distribuição digital de videojogos), que disponibiliza os *drivers* e jogos para o equipamento.

As características mínimas para o computador funcionar com este equipamento são:

Tabela 1 - HTC Vive Requisitos mínimos

Componente	Especificação
CPU	Intel Core i5-4590 ou AMD FX 8350, equivalente ou superior
GPU	NVIDIA GeForce GTX 970 ou AMD Radeon RX 480, equivalente ou superior
RAM	4 GB RAM ou mais
Saída de vídeo	1x HDMI 1.4, ou DisplayPort 1.2 ou superior
Portas USB	1x USB 2.0 ou superior
Sistema Operativo	Windows 7 SP1, Windows 8.1 ou Windows 10

Até outubro de 2016, o ponto diferenciador deste dispositivo era a possibilidade de ter **roomscale**.

O **roomscale** é a capacidade de o dispositivo reconhecer as dimensões da sala onde se encontra e assim criar uma área jogável (limitada a 4.5m x 4.5m). Ou seja, o jogador estando nessa área pode andar em qualquer direção e o sistema consegue fazer a captura dos seus movimentos através dos sensores *lighthouse* (Capítulo 2.8). Estes sensores são capazes de reconhecer e mapear, com grande precisão, todos os movimentos dentro da área e são bastante fáceis de colocar e configurar [11].

A desvantagem dos HTC Vive prende-se com a necessidade de utilizar cabos entre o **HMD** e o computador, limitando a liberdade de movimentos, e podendo, assim, o utilizador tropeçar ou ficar preso nos cabos.

Oculus Rift



Figura 2 - Oculus Rift HMD e câmara de tracking

Fonte: <https://www.oculus.com/press-kit/hardware/>

Oculus Rift é um equipamento de **VR** desenvolvido pela Oculus V.R. Começou como projeto de Kickstarter, plataforma de **crowdfunding**, e obteve duas versões de desenvolvimento. A versão de consumidor, lançada no primeiro semestre de 2016, possui um **HMD** com dois auscultadores já embutidos, um sensor de **tracking** e um comando da Xbox One. O **HMD** tem capacidade de produzir duas imagens com resolução de 1080x1200 para cada olho (2160x1200 no total), com uma taxa de atualização de 90Hz. Tal como no HTC Vive, este tem que ser ligado a um computador.

Para um bom desempenho do equipamento, o computador a utilizar deverá ter as seguintes características mínimas:

Tabela 2 - Oculus Rift requisitos mínimos

Componente	Especificação
CPU	Intel i3-6100 / AMD FX4350 ou superior
GPU	NVIDIA GTX 960 ou superior
RAM	8GB RAM ou mais
Saída de vídeo	1x HDMI 1.3 vídeo output
Portas USB	1x USB 3.0, mais 2x USB 2.0
Sistema Operativo	Windows 8 ou superior

Este produto foi, inicialmente, pensado para criar experiências **VR**, estando o utilizador sentado.



Figura 3 - Oculus Touch

Fonte: <https://www.oculus.com/press-kit/hardware/>

Separadamente podem adquirir-se os comandos *Touch* e mais um sensor de **tracking**. Estes comandos fazem tracking às mãos dos jogadores e permitem uma interatividade com o mundo virtual de forma bastante imersiva.

Ao ser adquirido o terceiro sensor de **tracking**, este possibilita o uso do **roomscale** à semelhança dos HTC Vive. Uma funcionalidade que não era possível até outubro de 2016.

Em termos de desvantagens, o Oculus Rift apresenta o mesmo problema descrito com o equipamento anterior, relativamente aos cabos. Com os três sensores de **tracking**, a sua montagem e configuração é muito mais complexa [12], e, caso não fique bem configurado, tem menos precisão de **tracking** que o HTC Vive [11].

PlayStation VR



Figura 4 - PlayStation VR

Fonte: <https://www.playstation.com/en-us/explore/playstation-vr/gallery/>

PlayStation VR é um produto da Sony Corporation e foi lançado no início de outubro de 2016. É um **HMD** que usa as capacidades da consola PlayStation 4. O conjunto é constituído por um **HMD** e auriculares stereo. No entanto, para o seu funcionamento torna-se necessária a aquisição de uma PlayStation 4, uma câmara PlayStation (vendida em separado) e, pelo menos, um comando PlayStation Move (vendido em separado) [13] [14].

As características da consola PlayStation são:

Tabela 3 - Características da consola PlayStation

Componentes	Especificações
CPU	Octa-Core de 1.6Ghz até 2.75GHz
GPU	Semi-custom AMD GCN Radeon
RAM	8GB
Saída de Vídeo	HDMI 1.4, Saída SD. Saída HD de 720p, 1080p, 4k (não confirmado)
Portas USB	2x USB 3.0
Outras características	Stereoscopic Output hardware supported

O **HMD** tem um ecrã 960 × 1080 por olho (1920x1080 no total) com uma taxa de actualização de 90 Hz a 120Hz.

A PlayStation VR, dispositivo apenas de uma câmara de **tracking**, acaba por não conseguir aplicar o **Roomscale**, impedindo o utilizador de se movimentar numa área.

Gear VR



Figura 5 - Gear VR

Fonte: <https://www.oculus.com/press-kit/hardware/>

Este dispositivo surge de uma colaboração entre a Samsung e Oculus V.R. É um dispositivo que faz uso dos telemóveis Samsung (Galaxy S6, S7, Galaxy S6 Edge, S6 Edge+, S7 Edge, Galaxy Note 5). Ao contrário dos dispositivos anteriores (que utilizam o computador para o processamento de imagens e informação) este utiliza o telemóvel para o mesmo efeito.

O **HMD** tem sensores de movimento complementados com o painel tátil (na lateral direita do dispositivo) para input do utilizador e liga-se a um telemóvel da Samsung por micro-USB. Assim, é o telemóvel que faz de ecrã para os olhos e que processa toda a informação.

As características do S6, S7 e Note 5 são:

Tabela 4 - Características dos telemóveis Samsung

Componentes	Modelo S6	Modelo S7	Modelo Note5
Processador	Octa-core (4x2.1 GHz Cortex-A57 & 4x1.5 GHz Cortex-A53)	Octa-core (4x2.3 GHz Mongoose & 4x1.6 GHz Cortex-A53)	Octa-core (4x2.1 GHz Cortex-A57 & 4x1.5 GHz Cortex-A53)
Resolução	1440 x 2560 pixels, 5.1 polegadas		
Memória RAM	3GB	4GB	4GB
Gráfica	Mali-T760MP8	Mali-T880 MP12	Mali-T760MP8
Bateria	2550 mAh battery	3000 mAh battery	3000 mAh battery
Sensores	Fingerprint (front-mounted), accelerometer, gyro, proximity, compass, barometer, heart rate, SpO2		

DayDream



Figura 6 - Dispositivo Daydream da Google

Fonte: <https://vr.google.com/daydream/static/images/pages/home/home-phones.jpg>

DayDream, desenvolvido pela Google, é um equipamento que veio melhorar as características do Cardboard [15]. Foi lançado em Outubro de 2016, estimando-se que a sua venda atinja os 6 milhões de unidades, até ao final de 2017 [16].

Este equipamento funciona com os telemóveis Google Pixel e Pixel XL, e pretende, brevemente, ser acessível a muitas outras marcas de telemóvel Android [17].

Vem equipado com um comando simples, para interação, através de um painel tátil e sensores de movimentos.

As características do Google Pixel são:

Tabela 5 - Características dos telemóveis Google Pixel

Componentes	Pixel	Pixel XL
Processador	Quad-core (2x2.15 GHz Kryo & 2x1.6 GHz Kryo)	Quad-core (2x2.15 GHz Kryo & 2x1.6 GHz Kryo)
Resolução	1080 x 1920 pixels, 5.0 polegadas	1440 x 2560 pixels, 5.5 polegadas
Memória RAM	4GB	4GB
Gráfica	Adreno 530	Adreno 530
Bateria	2550 mAh battery	3000 mAh battery
Sensores	Fingerprint, accelerometer, gyro, proximity, compass, barometer	Fingerprint, accelerometer, gyro, proximity, compass, barometer

Comparações finais e Conclusões

Apresentamos uma tabela de comparações entre os produtos:

Tabela 6 - Comparações entre dispositivos

Dispositivo	Plataforma	Controlos	Resolução	Taxa de atualização	RoomScale	Preço
Oculus Rift	Desktop	Touch (separado)	1080x1200 por olho	90 Hz	Sim	599€ + 199€ (comandos) + 79€ (câmara extra)
HTC Vive	Desktop	Motion Controllers (bundle)	1080x1200 por olho	90 Hz	Sim	899€
PlayStation VR	Consola	Move (Separado)	960x1080 por olho	90-120Hz	Não	399,99 + 74€ (câmara) + 2x 22,50€ (comandos move)
Gear VR	Mobile	Comando	1440x2560 (por ecrã)	60Hz	Não	99€
DayDream	Mobile	Comando	1080x1920 (por ecrã)	60Hz	Não	79€

Perante os dados apresentados, verifica-se que um dos parâmetros (a saber: resolução) não se apresenta como discriminatório, uma vez que as características são muito semelhantes nos vários dispositivos. No que se refere ao parâmetro plataforma, tendo em conta as características abaixo indicadas, consideramos o facto de utilizarem o computador, os dispositivos Oculus Rift e HTC Vive apresentam melhores condições em relação aos restantes. Por outro lado, os dispositivos *mobile* (GearVR e DayDream) apesar de apresentarem valores de custo mais baixos, têm igualmente taxa de atualização mais baixas, assim como não apresentam a possibilidade de **Roomscale**, ficando deste modo eliminados da presente escolha.

Visto que, para o desenvolvimento deste trabalho, será necessário:

- Capacidade de processamento de um computador;
- Comandos de movimento para se poder fazer **tracking** aos movimentos das mãos (preferencialmente incluídos no *bundle*);
- Capacidade de **Roomscale**;
- Taxa de atualização no mínimo de 90Hz.

Atendendo a estas necessidades, assim como o valor do custo não se apresentar como parâmetro diferenciador, entre os dispositivos mais próximos das necessidades (HTC Vive e Oculus Rift), a escolha recaiu sobre o dispositivo HTC Vive, dado que reúne todas as condições necessárias.

2.3. Análise da tecnologia

Neste capítulo é feita uma análise dos motores de jogos, nomeadamente, Unreal Engine, Unity3D e CryEngine. Estes são atualmente os motores que possibilitam a criação de conteúdos **VR**, de forma gratuita e com funcionalidades avançadas.

Unreal Engine

O Unreal Engine é um motor de jogo construído em 1998 pela empresa Epic Games. Foi utilizado pela primeira vez no jogo Unreal e, desde então, tem sido a base para inúmeros jogos (Unreal Tournament (Epic Games, 1999), Bioshock (2K Games, 2007), Mortal Kombat X (NetherRealm Studios, 2015), entre tantos outros). Esta ferramenta utiliza C++ como linguagem de programação e possui um sistema de *scripting* visual, "Blueprint" (explicado posteriormente em detalhe), o qual permite desenvolver com facilidade a lógica necessária para criar as diferentes mecânicas de jogo.

O suporte para **VR** foi introduzido na versão 4.0, lançada em 2012. Nesta versão, o primeiro dispositivo a ser suportado foi o Oculus Rift DK1, o qual havia sido lançado no mesmo ano. Na versão 4.14 todos os dispositivos **VR** passaram a ser suportados.

Até março de 2015, para desenvolver jogos com este motor de jogo, era necessário adquirir uma licença. Mas, dessa data em diante, passou a ser de distribuição gratuita. A única contrapartida é o pagamento, à Epic Games, de uma comissão sobre os rendimentos gerados pelos jogos criados [18].

BluePrint Visual Scripting

BluePrint Visual Scripting é um sistema de *gameplay scripting* baseado em programação modular. Como é habitual na programação orientada a objetos, também este sistema funciona à base de classes, sendo um BluePrint equivalente a uma classe. O sistema é bastante flexível, na medida em que pessoas sem conhecimentos avançados de programação podem adicionar funcionalidades e testar essas mesmas funcionalidades (ideal para *designers*). Por outro lado, o BluePrint é poderoso já que, na sua criação, faz *extended* a classes "nativas" de C++, possibilitando, a esta linguagem de *scripting*, as mesmas vantagens da linguagem C++. Também permite adicionar, alterar, mudar componentes e implementar lógica personalizada, com utilização da linguagem *script* visual. Por exemplo, quando se pretende implementar uma funcionalidade a um objeto do jogo, dentro do seu BluePrint, basta arrastar-se o módulo com a lógica/funcionalidade que se pretende, ligando-o às outras funcionalidades que já tenha. Essa nova funcionalidade fica logo disponível e permite visualizar, desde logo, o seu comportamento. Em adição, programadores podem criar classes em C++ e, assim, criar módulos personalizados/customizados de BluePrints para serem usados posteriormente.

Cada BluePrint tem um *script* de construção, análogo a um construtor C++, que é executado quando o objeto é criado no ambiente gráfico do motor. Permite, assim, uma construção dinâmica dos objetos ou lógica de jogo que, por sua vez, pode ser usado como um sistema de *prefab* (módulo pré-construído que permite criar várias instancias do mesmo objeto ou lógica de jogo).

No momento de decidir entre programar em C++ ou BluePrints deve-se ter em consideração dois fatores, de acordo com a documentação oficial [19]: Rapidez e Complexidade.

Não havendo métricas oficiais relativas à rapidez de execução entre BluePrints e C++, encontram-se, no entanto, vários relatos que indicam que o uso excessivo de BluePrints pode provocar um aumento considerável de *overhead* (sobrecarga de processamento) [20]. Por outro lado, em situações em que é necessário realizar muitos cálculos ou operar em frequências altas, existem relatos que aconselham o uso de C++. Assim, será mais aconselhável a combinação das duas linguagens, podendo criar-se módulos em C++ e usá-los como funções na parte lógica do BluePrint.

A nível de complexidade que envolva operações com *data sets*, manipulação de *strings*, cálculos matemáticos, revela-se mais fácil o uso de C++.

No entanto, tudo se resume à complexidade do próprio jogo e constituição da equipa, sendo o ideal o equilíbrio entre duas linguagens, produzindo com mais rapidez/performance e, simultaneamente, mais flexibilidade.

O uso de BluePrints parece apresentar-se como sendo a melhor opção para prototipagem ou pequenas experiências, pois rapidamente se consegue criar protótipos, detetar aspetos a melhorar e aplicar novas alterações ou validações. Se, após esta fase, o protótipo se revelar promissor e avançar para a fase de produção, deve-se fazer um *profiling* dos diversos BluePrints que consomem mais recursos e reconstruí-los em C++, otimizando o processo de desenvolvimento [19].

Unity3D

Unity é um motor de jogo criado pela empresa Unity Technologies em junho de 2005.

Foi anunciado somente para produzir conteúdos para a Macintosh (Apple), mas desde então foi alargando as plataformas em que estava disponível. Hoje em dia tem como target 21 plataformas incluindo PC, Mac, Linux, Android, PlayStation, etc.

Quando pretendemos criar jogos para mobile ou 2D, esta ferramenta demonstra potencial em relação à sua concorrência, apresentando-se como especialista para esse fim.

As linguagens de programação que podem ser usadas são: C#, JavaScript e Boo.

Tal como o Unreal Engine, esta ferramenta também tem uma versão *free-to-use*, sendo esta limitada em termos de rendimentos/lucros, pagando-se *royalties* para cada venda. Há possibilidade de aquisição de versões pagas desta ferramenta, que permitem desbloquear a limitação de rendimentos e com a possibilidade de se aceder a maior número de serviços.

O suporte para **VR** só foi aplicado na versão 5.1, lançada em junho de 2015, sendo o Oculus Rift o primeiro dispositivo a ter suporte.

Apesar de ser uma boa ferramenta para desenvolvimento de jogos, apresenta algumas desvantagens. Por um lado, o Unity3D não disponibiliza o seu *Source Code* (no caso do Unreal é disponibilizado livremente), o que dificulta a pesquisa de problemas de performance e as suas possíveis soluções. Para além disso, o editor de programação que vem juntamente com o motor (denominado por "mono") encontra-se muitas vezes desatualizado, criando problemas de compatibilidade com o próprio motor de jogo e com o projeto que está a ser desenvolvido [21].

CryEngine

Criado por uma companhia alemã chamada Crytek, em maio de 2002.

Este motor (tal como é referido pela própria empresa) tenta ser “o mais poderoso no mercado” dos jogos em 3D, oferecendo ferramentas de produção em 3D, sistemas de inteligência artificial pré-feitos, etc [22].

Permite programar em C++, C# e LUA. As plataformas suportadas são: Windows, Linux, Playstation, Xbox, Android e iOS. O suporte em **VR** foi introduzido na versão 3.8.1 do motor [23].

O modelo de negócio deste motor é “Paga o que quer”, ou seja, o *developer* é que escolhe quanto quer pagar para usar o motor de jogo (mesmo que seja 0€), sendo semelhante aos seus competidores Unity3D e Unreal [24].

No entanto, a CryEngine foi licenciada à empresa Amazon, que por sua vez, lançou o Lumberyard, uma versão melhorada do CryEngine [25] [26].

Neste momento, a empresa atravessa uma fase de instabilidade financeira e está a encerrar estúdios em toda a Europa.

Conclusões

A escolha da ferramenta usada recaiu para o Unreal Engine, por esta se mostrar um motor de jogo robusto e, para além disso, o uso de BluePrints permitir criar protótipos ou experiências funcionais de forma rápida.

2.4. Análise de técnicas de interação para VR

Quando se inicia o design de um jogo ou aplicação é muito importante saber e delinear as interações que são possíveis nessa aplicação. Principalmente na realidade virtual (**VR**) essas interações são muito importantes para o sucesso e entendimento daquilo que pode ser feito nesse mundo virtual (pois são usados gestos reais para interação com o jogo).

Estas interações podem variar no grau de naturalismo ou *interaction fidelity* (fidelidade de interação). A fidelidade de interação é definida como o grau de exatidão que as interações reais são reproduzidas no sistema.

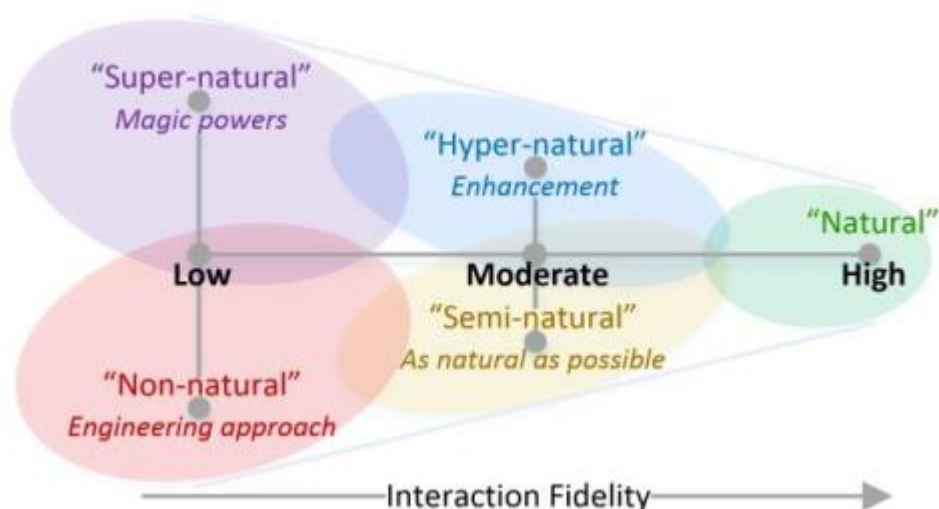


Figura 7 - Técnicas de interação em VR

Extraído de: [27]

Distinguimos 5 maneiras/técnicas que podemos definir para a interação do utilizador/jogador com o jogo, que se passa a enumerar, de acordo com [27]:

Natural:

A abordagem mais comum é começar pelas interações naturais do mundo real. Isto é, todos os movimentos que são feitos pelo utilizador/jogador são reproduzidos numa escala de 1:1 no jogo, tendo um grau máximo de fidelidade de interação.

Dando um exemplo, na situação de “andar” a técnica mais natural é deixar o utilizador andar normalmente, de forma a que, no mundo virtual, seja replicado o mais fiel quanto possível.

Mas nem sempre isto é possível ou prático, porque o mundo virtual pode ser muito maior que a área jogável ou pode ser demasiado fatigante para o jogador.

Seminatural:

Este conceito apresenta um grau de fidelidade de interação moderada. Nesta categoria encontram-se técnicas como: *walking-in-place* (descrito no capítulo 2.8) ou dispositivos de locomoção (*treadmills*), tendo cada uma um grau diferente de fidelidade de interação. Além de manter a perceção espacial do utilizador, também evidencia a redução de tarefas feitas em comparação com as interfaces non-natural.

Hyper-natural:

As interações *Hyper-natural* aumentam habilidades reais do utilizador. A técnica *Sevenleague boots* é uma aplicação deste conceito, que consiste em criar uma escala dinâmica do andar (1 passo real representa 7 no virtual), otimizando o “andar” em espaços pequenos. Neste, os utilizadores, têm uma interação moderada como nos seminaturais; aqui a fidelidade é reduzida

intencionalmente pelo *designer* para melhorar a eficácia da ação. O problema, associado a este conceito, é a redução da percepção espacial do utilizador pela discrepância entre virtual e real.

Outro exemplo da aplicação deste conceito é usado no jogo "WiiSports Tennis". Este usa, para as tacadas da raquete, movimentos reais, só que, em vez de mapear totalmente os movimentos físicos, usa a técnica de mapear várias tacadas que correspondem todas à mesma tacada "perfeita" no jogo.

Para finalizar, o designer pode descartar, por completo, a realidade metafórica e escolher técnicas de interação non-natural ou supernatural com baixos níveis de fidelidade de interação.

Non-natural:

Forma eficaz de mapear os inputs na ação desejada, usando *joysticks* ou teclados. Como exemplo, pressionar a tecla (imagem) do teclado faz a personagem do jogo andar para a frente.

Este conceito já é usado em muitos jogos tradicionais.

Supernatural:

Por outro lado, os *developers* podem criar técnicas que vão para além da realidade dando poderes não realísticos ao utilizador/jogador. Aqui existe imensa liberdade em desenhar as técnicas que pretendem. A diferença deste conceito para o *Hyper-natural* é que o *Hyper-natural* permite ao utilizador usar interações possíveis no mundo real, usando metáforas naturais que aumentam as habilidades naturais do utilizador.

2.5. Virtual reality sickness

A *virtual reality sickness*, *cybersickness* ou *simulation sickness* ocorrem quando um utilizador é exposto a um ambiente em **VR** e cria sintomas parecidos com *motion sickness* (cinetose ou enjoos de movimento). A cinetose é causada por uma perturbação no reconhecimento do movimento feito pelo sistema vestibular⁶ (estando o corpo parado mas o ambiente em movimento) gerando um conflito de informações no sistema nervoso central, que tenta relacionar as informações da visão com as do ouvido interno [28]. Os sintomas vão desde desconforto, dores de cabeça, sensação de estômago "às voltas", náuseas, vômitos, transpiração, vertigens, fadiga até desorientação [29] [30].

Podemos comparar estes enjoos com os sentidos no mar [31] . Quando uma pessoa se desloca de barco pela primeira vez, geralmente, fica com sensação de enjoo por causa das oscilações e variações bruscas de velocidade. Mas passadas algumas horas ou dias de experiência, normalmente, o organismo reconhece aqueles movimentos e inicia mais rapidamente processos de

⁶ Sistema ou aparelho vestibular – É um conjunto de órgãos do ouvido interno responsável pela manipulação do equilíbrio.

reequilíbrio (entre o ouvido interno e os centros cerebrais específicos) [28] e a sensação de enjoo minimiza-se e/ou deixa de existir.

Situação idêntica acontece ao utilizador da **VR**, em que, quanto mais se familiariza com ambientes em **VR**, menos desconforto sente.

Não existe e, provavelmente, não existirá uma solução perfeita, que retire a náusea, em todas as experiências criadas. Por outro lado, existem pessoas que não experienciam *motion sickness* mesmo sendo induzidas, enquanto outras ficam instantaneamente maldispostas.

Existem indicações que, para reduzir a *motion sickness*, deve-se manter os 90 frames por segundo (**FPS**) para cada olho, recomendados pela HTC e Oculus V.R. No entanto, tudo depende da forma como a experiência é desenvolvida [10].

Além disso, iremos listar um conjunto de cuidados que poderão reduzir os sintomas acima referidos:

Reduzir movimentos non-forward

Movimentos que sejam pouco reais ou próximos dos movimentos que fazemos na vida real tendem a causar *simulator sickness*. Estes movimentos entram em conflito com as expectativas do cérebro, como por exemplo, quando nos movemos em frente e olhamos para o lado. Existindo algumas maneiras de prevenir esta situação, tal como “obrigar” o utilizador/jogador só a andar no sentido para onde está a olhar; no entanto, esta situação irá limitar a jogabilidade.

Reduzir Vection

Outra situação da vida real que provoca alguma náusea ou mal-estar é, por exemplo, na situação de se estar sentado no interior de um comboio, olhando para o exterior pela janela e, no momento em que este se começa a movimentar (a partir), a sensação que se tem é de que o exterior se está a movimentar em sentido contrário ao real. Esta ilusão é denominada de *Vection*. Assim, *Vection* ocorre quando o movimento real é percecionado, pela pessoa, como estando a acontecer ao contrário, provocando sensação de enjoo. Essa sensação pode ser reduzida de diferentes maneiras, como por exemplo, reduzindo a complexidade das texturas e a velocidade do jogador.

Reduzir aceleração

O nosso ouvido interno é constituído por um sistema biológico que, para além de outras funções, permite detetar mudanças de velocidade, reconhecendo a alteração de movimento entre as “travagens” e acelerações, ajudando a atividade cerebral a ajustar o equilíbrio do nosso corpo ao movimento percecionado. No entanto, esta função não é acionada quando nos encontramos em situação de velocidade constante. Assim, os *developers* podem conseguir ter um utilizador em movimento, com velocidade constante e em linha reta, não apresentando os efeitos de enjoo ou em que estes se apresentam bastante reduzidos.

Mesmo assim, quando adicionamos movimentos elípticos (viragens ou saltos) e mudamos a velocidade, aumentamos a probabilidade, do utilizador/jogador, ficar com sensação de enjoo. Esta é uma das razões que sustenta o aconselhamento de não se utilizar jogos de montanha russa como jogos introdutórios em **VR**.

Reduzir YAW da câmara e remover o Roll e o Pitch

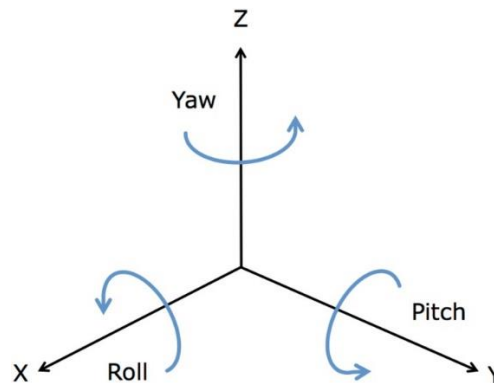


Figura 8 - Ilustração dos tipos de rotação

Fonte: <http://bit.ly/2iOrQkV>

YAW refere-se aos movimentos/rotações ao longo do eixo vertical, como virar o nariz de um avião (como representado na Figura 8). Assim, caso seja esse o objetivo da experiência, utilizar YAW poderá ser uma das formas de induzir a sensação de enjoo. Por isso, YAW é uma rotação que deve ser usada com cuidado.

Pode levar a constrangimentos no *design* dos jogos, uma vez que obriga a que o jogador esteja ou sentado numa cadeira que rode, ou em pé, durante as experiências, sendo as rotações controladas pelos movimentos naturais da cabeça.

Adicionar uma *frame* de referência estática

Esta técnica pode não ser possível aplicar em todas as experiências, mas ao adicionar algo estático numa experiência em **VR**, é um facto que pode reduzir imenso os sintomas de enjoo e, ainda, promover um aumento da imersão. Por exemplo os Cockpits (Descrição de cockpit no capítulo seguinte) [32], [33].

2.6. Efeitos da exposição à VR

Como referido no capítulo anterior, simuladores e dispositivos **VR** provocam sintomas de cinetose aos participantes. Nesta vertente têm-se realizado variados estudos, principalmente por Robert S. Kennedy [34], de forma a avaliar os efeitos da exposição em humanos dos diferentes ambientes virtuais. Esses estudos demonstram que os participantes que sejam expostos a simuladores e a dispositivos **VR** desenvolvem sintomas de cinetose durante ou até mesmo depois da exposição desses dispositivos.

Verificamos que estudos sobre este efeito se encontram bem documentados em relatórios sobre simuladores, no entanto, os mesmos sintomas têm sido reportados igualmente por utilizadores de **VR**, particularmente os que usam **HMDs** [31].

Estes efeitos acabam por limitar a utilização destes dispositivos, particularmente em treinos ou no entretenimento, caso estes prejudiquem a saúde ou segurança do participante. Dando um exemplo, nos treinos militares, se o participante for incapaz de funcionar efetivamente num ambiente virtual, os objetivos do treino podem ser comprometidos ou até mesmo transferir efeitos negativos para a execução de tarefas depois na realidade [35].

Estes sintomas podem colocar em risco a saúde e segurança do participante, sendo um dos perigos a persistência dos sintomas, ou seja, mesmo depois da experiência os participantes continuam a manifestar os sintomas por alguns períodos de tempo. Num estudo realizado por Kennedy e Baltzley em simuladores de aviação, foi registado que 75% dos militares manifestaram os sintomas durante 30 minutos a 1 hora, 13% dos militares durante 4 horas e 8% durante 6 horas ou mais até desaparecerem por completo.

Outro perigo que pode surgir é o de efeitos tardios. Um participante pode não ter os sintomas de cinetose durante ou imediatamente a seguir à simulação, mas passado algum tempo estes manifestam-se [31].

Ainda, os participantes que sentem estes efeitos secundários podem não conseguir continuar no ambiente virtual, terminando prematuramente a experiência. Estudos feitos por Stanney e Kennedy registaram uma taxa de desistência de 12% a 19% [36].

Por sua vez, foi sugerido por Pausch, Crea e Conway [37], que qualquer impacto negativo no uso da tecnologia pode causar, ao participante, relutância em voltar a usar a simulação ou dispositivo, podendo até mesmo descartar o uso completo do dispositivo de realidade virtual para futuros usos.

2.7. Medição de "Sickness"

Para se realizarem testes, de forma a estudar e analisar os sintomas causados e o seu grau de impacto, é necessário encontrar maneira de quantificar de forma válida e confiável os efeitos dos simuladores e dispositivos **VR**.

Várias medidas objetivas e subjetivas têm sido usadas na documentação dos efeitos de exposição em ambientes virtuais. Na secção seguinte é feita uma análise das técnicas de medição mais comuns na quantificação de *motion sickness*.

Medidas objetivas

O Motion Sickness Incidence (MSI) é a medida objetiva mais simples para a cinetose, mas que se encontra descontinuada. Consiste em contar o número de pessoas que vomitam ao serem expostos a um certo estímulo e por fim é expressa como percentagem do total de participantes que foram expostos ao estímulo [31]. Apesar de ser simples, apresenta alguns problemas. Primeiro, só avalia quem vomitou ou não, não avaliando qualquer outro tipo de efeitos (que podem ser menos fortes que o vômito, mas que se apresentam como potenciais debilitadores como náusea elevada ou tontura e desequilíbrio). Por outro lado, em dispositivos **VR** a incidência de vômito é muito baixo (menos que 2%, [38]). Por fim, o uso de MSI requer que o estímulo seja contínuo ao ponto de provocar vômito, que tem obviamente implicações negativas, o que torna esta medição muito difícil de usar e de conseguir voluntários para a realização dos testes.

Outros esforços para se produzir uma medida objetiva dos índices e severidade de *motion sickness* têm como foco índices fisiológicos. A NASA é uma das organizações que mais tem investido para o desenvolvimento de uma medida objetiva de *motion sickness* incluindo aspetos comportamentais [31]. Mesmo assim, a medição comportamental não tem sido particularmente bem-sucedida, dando só algumas explicações acerca das funções sensoriomotoras como postura e reflexo vestibulo-ocular. Outros parâmetros também foram estudados como batimentos cardíacos, pressão arterial, sistema respiratório, sistema gastrointestinal e níveis hormonais relacionados com o stress. Mesmo assim, o desenvolvimento de uma medida objetiva de *motion sickness* válida e confiável ainda não foi alcançado. Dando um exemplo, testes realizados por Reason e Brand mostram que as mudanças de cinetose em comparação com mudanças cardiovasculares e respiratórias são inconsistentes e não confiáveis [39]. Wetheim, por sua vez, descobriu que existe uma pequena correlação entre alterações do fluxo sanguíneo e gravidade da náusea, mas os efeitos são muito pequenos para serem considerados confiáveis [31].

Outro estudo, realizado no departamento de Engenharia Eletromecânica e de Computadores da Universidade de Coimbra(DEEC) por Bruno Patrão, tenta encontrar correlação entre os batimentos cardíacos, temperatura corporal e sistema respiratório com o índice de *motion sickness* através do Motion Sickness Questionnaire. Este concluiu que se encontram algumas relações entre os sintomas e o índice de cinetose, estabelecendo um guia para futuros designs de aplicações **VR**. No entanto, estes valores não foram validados porque o estudo não tem um número significativo de participantes. Em entrevista com o autor, este revelou que irá continuar a realizar testes para tentar validar os seus dados [40].

Como se pode constatar, desenvolver um método objetivo nesta área de estudo tem-se revelado difícil [31]. Kennedy sugere que todos os tipos de cinetose (incluindo simuladores e **VR**) envolvem múltiplos sintomas, pelo que uma avaliação de um só sinal ou sintoma não fornece uma métrica sensível de cinetose e, como resultado, não oferece conclusões significativas para o investigador.

Medidas subjetivas

Em contraste com as medidas objetivas que só conseguem avaliar um sintoma ou sinal de cinetose, as medidas subjetivas conseguem avaliar múltiplos sintomas através de questionários de autoavaliação.

Vários autores defendem que as reações subjetivas são uma fonte de informação muito valiosa sobre o estado do participante no momento da realização da experiência. Esta medida permite interrogar o participante sobre aspetos subjetivos do desconforto, permitindo inferir, com as respostas obtidas, o que os participantes sentem no momento [39] [41].

Existe uma grande preocupação do grupo científico sobre a validade do uso de informação subjetiva obtida através destes questionários. Assim, Werthiem [31] responde a esta preocupação demonstrando vários estudos que indicam que a validade dos resultados foi estabelecida, demonstrando uma alta relação entre os resultados dos questionários e os resultados do MSI (medida objetiva indicada no subcapítulo anterior).

Ainda, Lawson, Graeber, Mead e Muth reportam que os relatos subjetivos dos sintomas de desconforto foram provados como medidas válidas e confiáveis para o estado físico de um indivíduo e também são critérios importantes na interpretação dos efeitos fisiológicos e comportamentais da exposição a estímulos provocadores [41].

Por fim, Wertheim [31] afirma que o investigador deve escolher entre as medidas objetivas e subjetivas, baseando-se na validade e confiabilidade da medição e não somente se produzem dados objetivos ou subjetivos. Ainda mais, Kennedy afirma que a simples escolha entre as medidas, por si só, já é uma decisão subjetiva.

Existem vantagens no uso de questionários de autoavaliação, sendo estes de fácil uso e permitirem a possibilidade de agregar um maior número de participantes num período de tempo mais curto. É uma medição não invasiva e minimiza custos de realização das experiências [31] [42], além de que os questionários providenciam medidas mais sensíveis e completas do que as medidas normais objetivas que avaliam só um sintoma.

É de referir ainda que a desvantagem do uso de dados subjetivos depende da veracidade da pessoa ao responder ao questionário.

Os dois questionários mais usados na medição de cinetose são: Motion Sickness Questionnaire (MSQ) e Simulation Sickness Questionnaire (SSQ).

Motion Sickness Questionnaire

Motion Sickness Questionnaire (MSQ) consiste num questionário em papel com uma lista de 20 a 33 sintomas (dependendo do estudo em causa), sendo estes associados aos vários sintomas de *motion sickness* (náusea, dores de cabeça, ...).

Cada sintoma da lista é classificado numa escala de Likert de 0 a 4 (sendo esta *None, Slight, Moderate e Severe*). A seguir aplica-se o processo de pontuação cujo valor reflete o desconforto geral do participante (pontuação total de *motion sickness*) [42]. Vai desde o valor zero (nenhum sintoma) até ao valor máximo (indicando vómito). O problema deste questionário é que o valor numérico da pontuação total de *motion sickness* varia de estudo para estudo (por depender do número inicial de sintomas do estudo). A intenção de Lane e Kennedy, neste questionário, foi transformar os sintomas subjetivos em valores escalares que permitissem fazer análises estatísticas nos dados recolhidos e serem usados em pesquisas científicas [31].

Após a aplicação deste método, Lane e Kennedy [31] constataram que havia deficiências na medição do MSQ em relação aos dispositivos **VR** e simuladores. Para começar, Kennedy notou que havia necessidade de uma medida consistente que pudesse ser utilizada para avaliar os sintomas menos graves, do que as que usaram para criar o MSQ (exemplo, testar até ao ponto do vómito). Também havia diferenças entre a cinetose normal e cinetose provocada por simuladores e **VR**. Ao expor participantes à **VR**, mesmo que produzissem sintomas semelhantes à cinetose, estes eram normalmente muito menos severos e afetavam uma menor percentagem da população exposta.

Por sua vez, alguns dos sintomas válidos no MSQ não eram os mais apropriados, porque raramente aconteciam ou nunca aconteciam (exemplo: vómito).

Estas diferenças demonstram que o MSQ não seria o ideal para ser utilizado em simulador ou para dispositivos **VR**. Consequentemente, os autores consideram que as diferenças eram significativas e que justificavam a criação de um novo questionário, mais focado nesses dispositivos. Assim reavaliaram todos os dados já obtidos do MSQ e criaram o Simulation Sickness Questionnaire (SSQ).

Simulation Sickness Questionnaire

Através de uma amostra de calibração de mais de 1100 pares dos 28 itens do MSQ, recolhidos de 10 simuladores de aviação, todas as respostas foram novamente analisadas. Esta nova análise tinha como objetivo reagrupar os dados do MSQ e gerar o SSQ que iria resultar numa indexação mais apropriada e válida da severidade de *Simulation sickness*. Ao oferecerem subescalas de pontuação para diagnosticar várias informações recolhidas, separando-as em áreas distintas do *Motion Sickness*, permitem ajustar e criar um método de pontuação mais robusto.

Assim, o SSQ (desenvolvido por Kennedy 1993) consiste em 16 itens. Cada um dos itens é classificado com uma escala de Likert de 0 a 4 (*None, Slight, Moderate, Severe*). Depois de ponderar os pesos de cada um, ficam organizados em três grupos de sintomas: náusea (N), desconforto oculomotor (O) e desorientação (D). Ao agregar os três grupos, obtemos a pontuação total do *simulation sickness* (TS – Total score) [43]. A imagem seguinte demonstra o processo explicado.

TABLE 4
Computation of SSQ Scores

<i>SSQ Symptom^a</i>	<i>Weight</i>		
	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>D</i>
General discomfort	1	1	
Fatigue		1	
Headache		1	
Eyestrain		1	
Difficulty focusing		1	1
Increased salivation	1		
Sweating	1		
Nausea	1		1
Difficulty concentrating	1	1	
Fullness of head			1
Blurred vision		1	1
Dizzy (eyes open)			1
Dizzy (eyes closed)			1
Vertigo			1
Stomach awareness	1		
Burping	1		
Total^b	[1]	[2]	[3]
Score			
N = [1] × 9.54			
O = [2] × 7.58			
D = [3] × 13.92			
TS^c = [1] + [2] + [3] × 3.74			

^aScored 0, 1, 2, 3. ^bSum obtained by adding symptom scores. Omitted scores are zero. ^cTotal Score.

Figura 9 - Cálculo da pontuação SSQ[43]

Doravante, a pontuação total de *Simulation Sickness* será representada por TS (*Total Score*)

2.8. Hipóteses de locomoção

O poder/habilidade de nos movimentarmos de um local para outro é um requisito fundamental na ação/interação nos ambientes tanto reais como virtuais. Este requisito, apesar de ser considerado um dos elementos mais importantes e poderosos no mundo da **VR** é, no entanto, o que mais falhas apresenta no sistema da **VR**. Ora este sistema (como dito anteriormente no capítulo 2.1) pretende possibilitar a imersividade do indivíduo em ambientes gerados digitalmente. No entanto, mesmo nas formas mais básicas de interação - locomoção - ainda, em nada, corresponde ao movimento físico de caminhar na realidade. Geralmente, a ilusão de imersão pode ser perdida através de metáforas de interação construídas que comprometem toda a imersão da experiência [44].

Mesmo assim, já existem ideias e hipóteses para solucionar este problema/dificuldade, as quais iremos listar [45]:

VR Comfort Mode

Quando os primeiros dispositivos **HMD** surgiram, ainda não se tinha idealizado o facto de que o utilizador se poderia deslocar no espaço físico. Por essa razão, as primeiras experiências criadas obrigavam o utilizador a estar sentado. Como o nome indica, esta hipótese serve para criar experiências onde o utilizador esteja sentado, onde só poderá mover a cabeça e os braços.

Vantagens: Não cria enjoos (caso não sejam induzidos movimentos falsos).

Desvantagens: O *design* da experiência está limitado a um espaço fixo.

Roomscale Locomotion

O **Roomscale** foi introduzido pela Valve no dispositivo HTC Vive e recentemente os Oculus Rift também passaram a suportar.

Basicamente o **Roomscale** é a área (volume) jogável, onde os sensores do dispositivo são capazes de reconhecer todos os movimentos nessa área. Normalmente, são usadas interações naturais para mapear todos os movimentos e ações do utilizador. Esse mapeamento é feito numa escala de 1:1, ou seja, os movimentos do utilizador são reproduzidos com a máxima fidelidade de interação. Assim, o utilizador tem a melhor experiência ao mover-se no ambiente onde se encontra, porque todos os seus movimentos são naturais, como apresentado na figura seguinte.

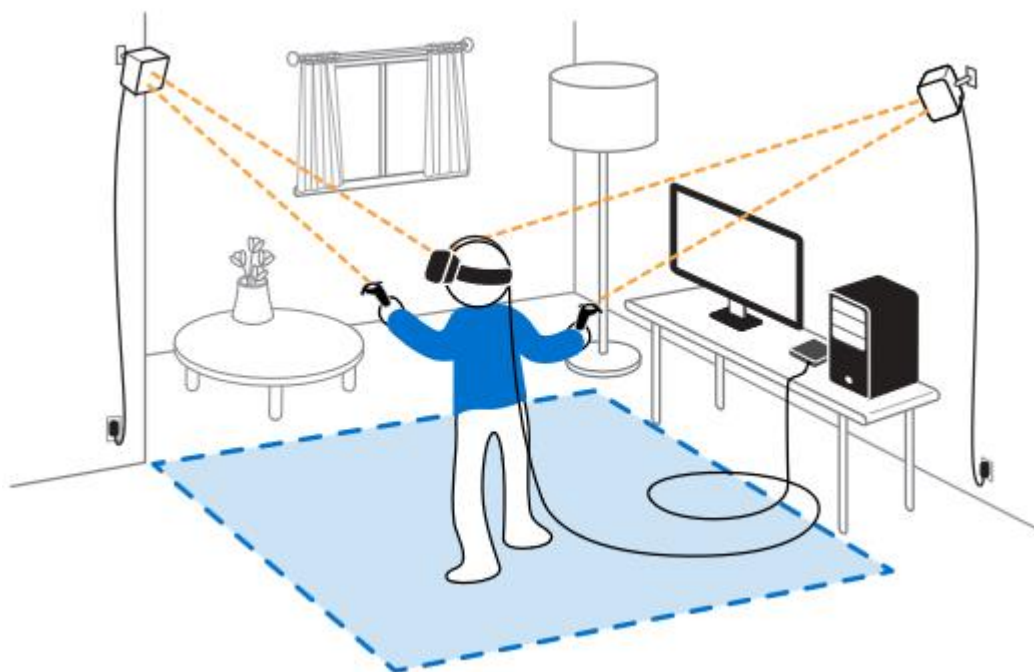


Figura 10 - Representação do Roomscale (HTC Vive)

Extraído de: <http://bit.ly/2j2jaG6>

Vantagens: O utilizador pode andar e movimentar-se de qualquer forma, na área jogável. Não causa enjoos.

Desvantagens: Nem sempre isto é possível ou prático, porque o mundo virtual pode ser muito maior que a área jogável ou pode ser demasiado fatigante para o jogador.

Walking-in-place

Walking-in-place é uma interação seminatural, onde é simulado o andar da pessoa mesmo que esta esteja parada no mundo real. Pode ser iniciada através de um gesto natural (apontar para uma direção) como pelo apontar do comando ou até mesmo pela inclinação do corpo. A direção do andar é determinada pela direção do olhar ou então pela direção do comando/gesto [44].

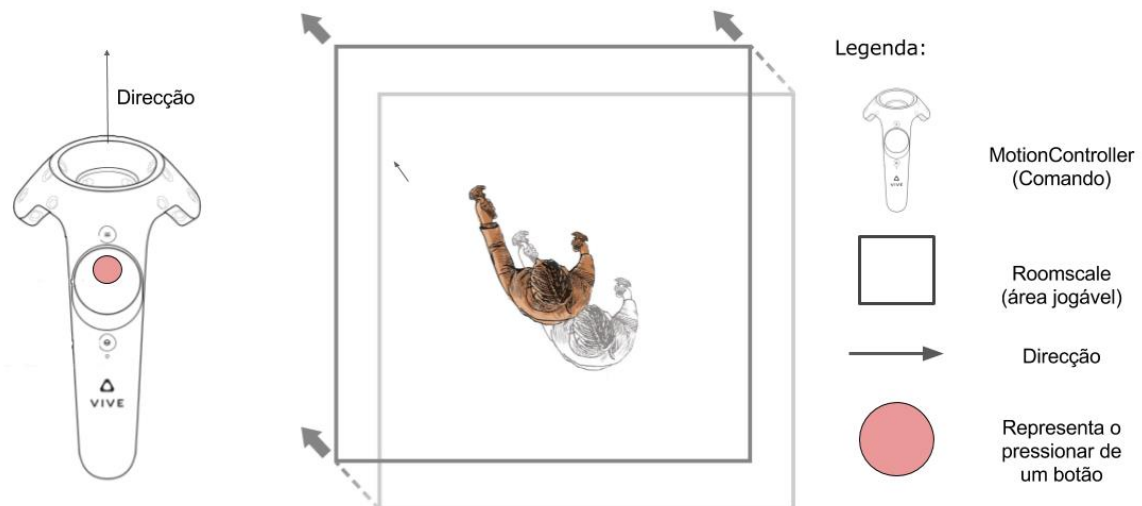


Figura 11 - Representação do Walk-in-place

Comando extraído de: https://www.vive.com/us/support/category_howto/720435.html

Como representado na figura do lado esquerdo, ao clicar num botão do comando, este toma a direção que aponta.

Caso se esteja a usar igualmente o **Roomscale** (lado direito da Figura 11), a área jogável é ajustada consoante a localização do **HMD** (posição da cabeça). Por outras palavras, o chão físico irá sempre corresponder ao terreno no mundo virtual, permitindo ao utilizador ter noção do espaço físico à sua volta.

Vantagens: Permite “andar” em qualquer direção e percorrer qualquer distância sem haver movimento real.

Desvantagens: Existe probabilidade de provocar *motion sickness* já que o utilizador não se move na realidade.

ArmSwinger

O *ArmSwinger* é uma técnica de locomoção que movimenta o jogador pelo mundo virtual através dos movimentos dos comandos, ao invés das pernas. Este conceito é uma nova versão do *walking-in-place*.

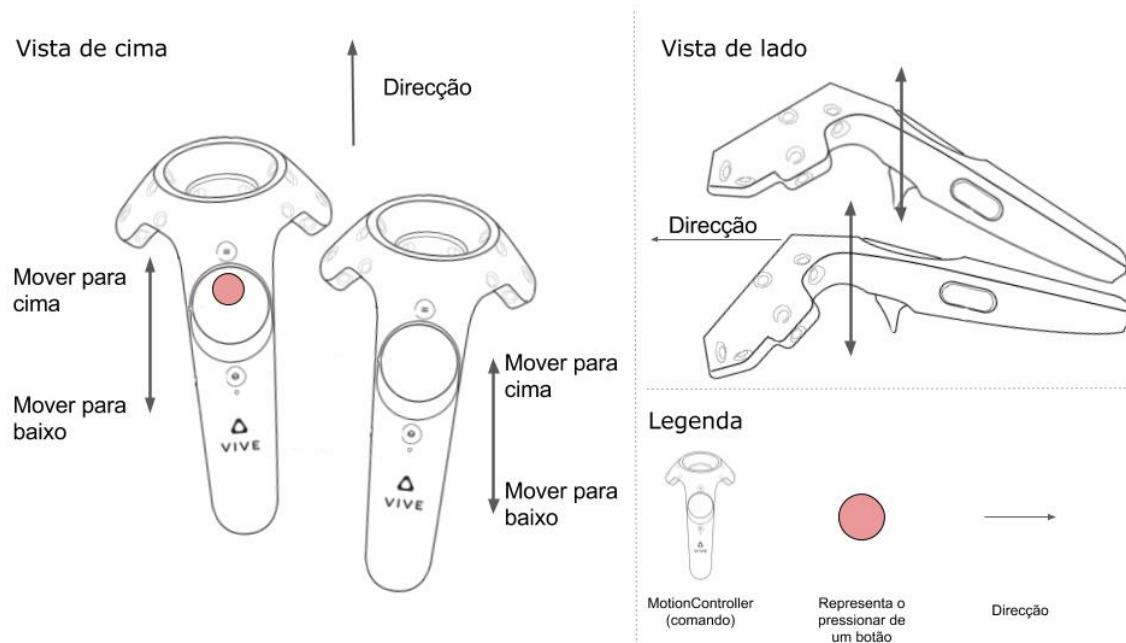


Figura 12 - Representação do ArmSwinger

Comando extraído de: https://www.vive.com/us/support/category_howto/720435.html

O movimento é acionado quando o jogador carrega num botão (específico para isso). A partir daí, os movimentos feitos pelos comandos x/y/z são traduzidos em movimento do jogador, tendo, como direção, o lado para onde ambos os comandos apontam. Como se pode ver na Figura 12 [46].

Vantagens: Funciona com a maioria dos jogos já existentes e é facilmente reproduzido. É mais imersivo que o *Point and click teleport*.

Desvantagens: Fatigante. Não se pode interagir com o mundo ao mesmo tempo que se movimenta. Pode provocar enjoos.

Point and Click Teleport

Este conceito está próximo da interação supernatural e é uma das técnicas, neste momento, mais standard nos jogos.

A imagem seguinte descreve o *Point and Click Teleport*.

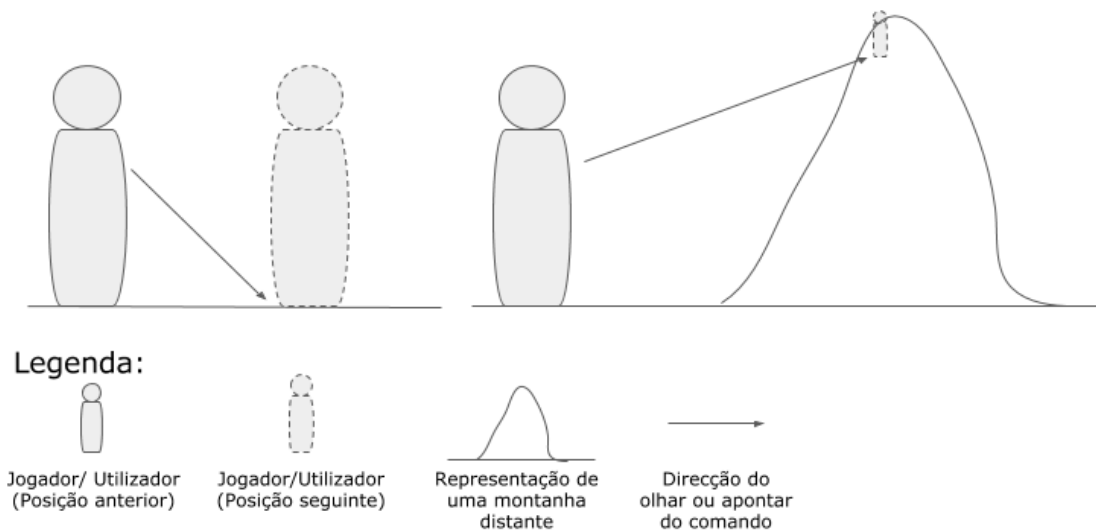


Figura 13 - Representação do Point and Click Teleport

O utilizador aponta o comando ou olha para o local para onde quer ir. Assim que estiver satisfeito, clica num botão, existe um fade in e out rápidos e o jogador encontra-se na nova posição [36] [37].

A vantagem: Não causa *motion sickness*. Porque não existe movimento na transação e a visão é completamente retirada. A ação é intuitiva.

Desvantagens: Desorientação em termos espaciais.

Não há limite natural de velocidade, isto é, independentemente do local para onde se aponta (longe ou perto) a velocidade de teletransportar é sempre a mesma. Por isso, pressionando o botão repetidamente para mover em pequenos incrementos, torna-se normal. Esta ação pode causar *motion sickness* se os passos dados forem bastante pequenos.

Não há uma distância limite natural, isto é, tendo um sistema de apontar e clicar teletransportação, deixa com que o jogador aponte para qualquer local, desde que o controlador tenha uma linha reta à vista para o local escolhido. Poderíamos limitar e avisar o jogador de qual a distância máxima que pode tomar, mas isso não seria um limite natural.

Este efeito de teleportação poderá retirar a sensação de imersão no jogo. Se no ambiente/ história/ *lore* do jogo se conseguir encaixar esta maneira de locomoção, então, teremos um resultado excelente. Mas o teleporte não se consegue encaixar em todas as narrativas. Há casos em que nem será conveniente: por exemplo, num ambiente de faroeste, esta técnica fará perder toda a credibilidade do jogo [47].

Tunneling

O *Tunneling* é uma técnica de locomoção que tenta juntar as forças de movimento constante e instantâneo ao mesmo tempo. O nome vem de "visão por túnel", ou seja, ver os movimentos através de um túnel.



Figura 14 - Representação do Tunneling

Extraído de: <https://youtu.be/IKnM5gC-XpY>

A ideia é restringir o efeito de *vection* (capítulo 2.4), numa área pequena e central da região visível. Esta pequena imagem continua a mostrar os movimentos normais que permitem ao jogador "conduzir" a personagem. A imagem periférica mantém-se estática (ou desaparece como demonstrado na Figura 15) e, assim, não cria *vection* (ilusões de movimento) nas periferias da imagem. O objetivo é criar a ilusão, ao utilizador, que não existem acelerações e simultaneamente poder-se conduzir a personagem e ver os seus movimentos [49].



Figura 15 - A técnica Tunneling aplicada no jogo Eagle Flight

Extraído de: <https://youtu.be/SWWjvbdH01I> [50]

Por fim, quando se termina o movimento a periferia volta ao seu estado normal.

Vantagens: Reduz significativamente a sensação de enjoo.

Desvantagens: Consegue-se ver a imagem estática, ou ausência dela, se observarmos a periferia do ecrã. É muito pesado a nível computacional. (É necessário fazer o render das imagens em separado para cada olho e reconstruí-las com o efeito aplicado, tal como demonstra a Figura 15).

Pull/Climbing

Esta técnica dá a sensação ao utilizador de conseguir mover o mundo com as suas mãos. Ao estender a mão para a frente e ao pressionar uma tecla, quando “puxa” o comando para junto do corpo o mundo parece mover-se nessa direção.



Figura 16 - Técnica Climbing aplicada no jogo Climb da Crytek

Extraído de: <http://www.theclimbgame.com/>

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

Esta técnica já foi implementada nos seguintes jogos: Paintey (Brian Lindenhof, 2016) e Climb (Crytek, 2016).

Vantagens: Em jogos de escalagem é bastante imersivo.

Desvantagens: Não se pode interagir com o mundo ao mesmo tempo que se movimenta.

Cockpit

Técnica onde é aplicada uma imagem fixa, como uma *frame* de um interior de um veículo ou de uma cabine espacial.



Figura 17 - Técnica Cockpit aplicada no jogo EVE: Valkyrie (CCP Games, 2016)

Fonte: <http://bit.ly/2kaBGOC>

Assim, temos uma imagem estática como ponto de referência, que ajuda a prevenir a sensação de enjoo, dando ao utilizador uma sensação de se encontrar num ambiente estável.

No entanto, esta técnica só pode ser usada caso estejamos dentro de um veículo e que esse mesmo veículo seja uma das mecânicas fundamentais do jogo.

Vantagens: Reduz a sensação de enjoos.

Desvantagens: Só pode ser reproduzido em situações que façam sentido, como conduzir um carro ou uma nave. Não funciona bem com o mover artificial e físico ao mesmo tempo (não contempla o **Roomscale**).

Holosphere

Aqui trata-se do mesmo conceito que o *cockpit*, mas, neste caso, aparece uma esfera geodésica de cada vez que nos movimentamos ou rodamos sem ser de forma natural.



Figura 18 - Representação da técnica Holosphere

Fonte: <https://youtu.be/oSP5sjg9TIs>

Esta desaparece assim que o movimento ou rotação termina. Isto dá ao jogador um ponto fixo e uma *frame* consistente de referência.

Vantagens: Reduz a sensação de náusea.

Desvantagens: Quebra a imersão de cada vez que existe um movimento falso.

Roomscale Vehicle

Aqui a técnica é semelhante à do *cockpit*, mas neste caso, toda a área jogável confina-se ao interior do veículo. Permite, ao jogador, andar naturalmente, dentro da área jogável (o interior do veículo) e ainda poder comandá-lo para se deslocar no mundo virtual.

Vantagens: O utilizador movimenta-se dentro do veículo sem quebrar a imersão.

Desvantagens: Tem que se criar um contexto para que este veículo faça sentido (como no **Cockpit**).

Floating Head (Third-Person)

A técnica aqui indicada já existe em muitos jogos de terceira pessoa, onde a câmara se encontra fixa atrás da personagem. Isto permite que o utilizador veja a personagem que controla a uma certa distância.

Vantagens: Não é necessário fazer **tracking** dos comandos.

Desvantagens: Não previne a sensação de enjoos e pode ser menos imersiva.

Snap N'Motion

Esta técnica é aplicada ao **Roomscale**. Aqui, o utilizador "anda" normalmente na sua área jogável mas, de cada vez que está prestes a bater numa parede na vida real, a personagem no mundo virtual dá uma volta de 180°, obrigando o jogador a dar meia volta para poder continuar a andar.

Vantagens: Usa a tecnologia **Roomscale** ao máximo.

Desvantagens: O facto de estar constantemente a mudar de direcção (de forma instantânea) causa desorientação e fadiga. E não é imersiva.

Este capítulo serviu como base teórica para o desenvolvimento da presente dissertação, principalmente no desenvolvimento e concretização do estudo experimental.

Capítulo 3. Metodologias e planeamento

Neste capítulo, são apresentadas as metodologias que foram usadas para o desenvolvimento da dissertação, os riscos a ter em conta no desenvolvimento das diferentes tarefas e formas de mitigação e, finalmente, o planeamento das diferentes fases de desenvolvimento do presente estudo.

3.1. Metodologias

Este projeto consistiu basicamente na realização de um estudo experimental, tendo assim, como finalidade a investigação de técnicas, processos ou ferramentas através da experimentação.

Esta metodologia assenta no controle sobre as variáveis manipuladas e a execução da própria experiência, permitindo a validação e generalização dos dados obtidos, bem como a possibilidade de repetição do estudo.

Seguindo a sua estrutura, planificam-se as tarefas da seguinte forma:

- Descrição de objetivos para a experimentação
- Design das experiências
- Recolha de dados
- Análise dos dados

Durante a fase de desenvolvimento do estudo experimental, realizaram-se reuniões semanais para monitorizar o tempo das tarefas e verificar todas as funcionalidades em desenvolvimento, de forma a avaliar a progressão e correção da experiência e proceder às devidas alterações ou ajustes necessários.

3.2. Riscos

Qualquer projeto de desenvolvimento de *software* ou estudo científico tem riscos associados, sendo por isso de todo o interesse realizar um estudo com o objetivo de identificar esses riscos e criar respetivos planos de mitigação.

Como o presente projeto se centra na manipulação de tecnologias recentes e, estando estas em constante modificação, só este facto poderá apresentar-se como uma fonte de riscos para o seu desenvolvimento.

Assim, após ter realizado o levantamento dos riscos é necessário proceder à sua classificação segundo três níveis: impacto, probabilidade e janela temporal.

Impacto (O efeito no sucesso do projeto se o risco ocorrer):

- **Alto:** O sucesso do projeto fica comprometido
- **Médio:** O sucesso do projeto é possível, mas com grande custo temporal e financeiro
- **Baixo:** O sucesso é atingido sem grande dificuldade

Probabilidade (Probabilidade de o risco provocar o impacto definido)

- **Alta:** Probabilidade superior a 70%
- **Média:** Probabilidade entre 40% e 70% (inclusive)
- **Baixa:** Probabilidade inferior a 40%

Janela Temporal (Tempo que vai desde a identificação do risco até ser necessário lidar com o risco)

- **Longa:** Janela temporal superior a 3 meses
- **Média:** Janela temporal entre 1 a 3 meses (inclusive)
- **Curta:** Janela temporal inferior a 1 mês.

Assim, apresentam-se as tabelas com as devidas identificações e classificações dos riscos.

Tabela 7 - Risco A

Identificador	A
Risco	As tecnologias usadas (para VR) possuem elevada curva de aprendizagem
Impacto	Médio
Probabilidade	Média
Janela temporal	Média
Consequências	Atraso ou incumprimento do planeamento
Mitigação	Alocar mais tempo na aprendizagem das mesmas

Tabela 8 - Risco B

Identificador	B
Risco	Aprendizagem do Unreal Engine
Impacto	Médio
Probabilidade	Baixa
Janela temporal	Curta
Consequências	Atraso ou incumprimento do planeamento
Mitigação	Mudar para Unity3D

Tabela 9 - Risco C

Identificador	C
Risco	Estimativa otimista dos tempos de desenvolvimento da experiência
Impacto	Médio
Probabilidade	Média
Janela temporal	Média
Consequências	Atraso ou incumprimento do planeamento
Mitigação	Monitorização semanal do avanço das tarefas ou reduzir funcionalidades da experiência

Tabela 10 - Risco D

Identificador	D
Risco	Não alcançar o número mínimo de amostra para a experiência
Impacto	Alto
Probabilidade	Média
Janela temporal	Longa
Consequências	Não se poder analisar os dados recolhidos. Não cumprimento dos objetivos da dissertação.
Mitigação	Divulgar com antecedência e em vários locais (email da faculdade e redes sociais)

De forma a priorizar os riscos e aumentar a base de apoio na tomada de decisões, foi criada uma matriz de exposição aos riscos (impacto x probabilidade).

Tabela 11 - Matriz de exposição aos riscos

Matriz de Riscos		Impacto		
		Baixo	Médio	Alto
Probabilidade	Baixa	B	A, C	D
	Média	A, C	D	D
	Alta	A, C	D	D

Legenda: Cor (Exposição) - Verde (Baixa), Laranja (Média), Vermelho (Elevada)

Assim na Tabela 11, pode-se verificar que o risco D deverá ter uma prioridade elevada, os riscos A e C uma prioridade Média e, por fim, o risco B uma prioridade mais baixa.

Para mitigar os efeitos do risco D, a divulgação pela população-alvo, foi feita de forma antecipada, bem organizada, utilizando meios eletrónicos/plataformas e redes sociais, e o local/espaco físico para a sua realização ser de fácil acesso e próximo, para alcançar o maior número de interessados.

Relativamente ao número de participantes a envolver na experiência foi considerada a seguinte indicação, recolhida através de entrevistas com psicólogos e investigadores médicos, que indicaram o número de 30 voluntários, como sendo uma quantidade razoável para se realizar um estudo científico com relevância/significância estatística.

No que se refere aos riscos A, B e C, antecipadamente identificados, apesar de apresentarem um impacto médio e probabilidade entre média a baixa, uma vez que foram previamente definidos os respetivos planos de mitigação, foi possível prevenir que se concretizassem.

3.3. Planeamento

O trabalho realizado ao longo deste projeto foi dividido em três fases.

Na primeira fase foi recolhida toda a informação e base científica relacionada com o tema que contextualizou e estabeleceu a base teórica de conhecimento para o desenvolvimento do presente projeto/estudo experimental. Incluiu a recolha de informação histórica acerca da realidade virtual, a reflexão acerca das possíveis definições e, ainda, uma avaliação e comparação dos dispositivos de **VR** existentes no mercado. Foi igualmente realizada uma análise acerca dos motores de jogos existentes, bem como uma análise de vários artigos científicos sobre os efeitos da cinetose e diferentes formas da sua “medição”. Informações base e de extrema importância para a realização da experiência em causa.

Na segunda fase do presente trabalho, foi criado o *design* do cenário virtual a utilizar, foram tomados em linha de conta todos os cuidados logísticos necessários para a concretização da experiência/testes. Tomaram-se ainda decisões acerca dos meios a utilizar na divulgação, pelo público-alvo, para concretização da mesma. Por sua vez, foram tidos em consideração os objetivos deste estudo experimental, os parâmetros escolhidos para análise e os conceitos teóricos que o sustentam e serviram de base.

Por fim, na terceira fase deste trabalho, recolheram-se os dados produzidos na experiência/testes, procedeu-se à sua análise e elaborou-se a respetiva reflexão sobre os mesmos.

A Figura 19 representa a calendarização de cada tarefa com o seu respetivo tempo alocado.

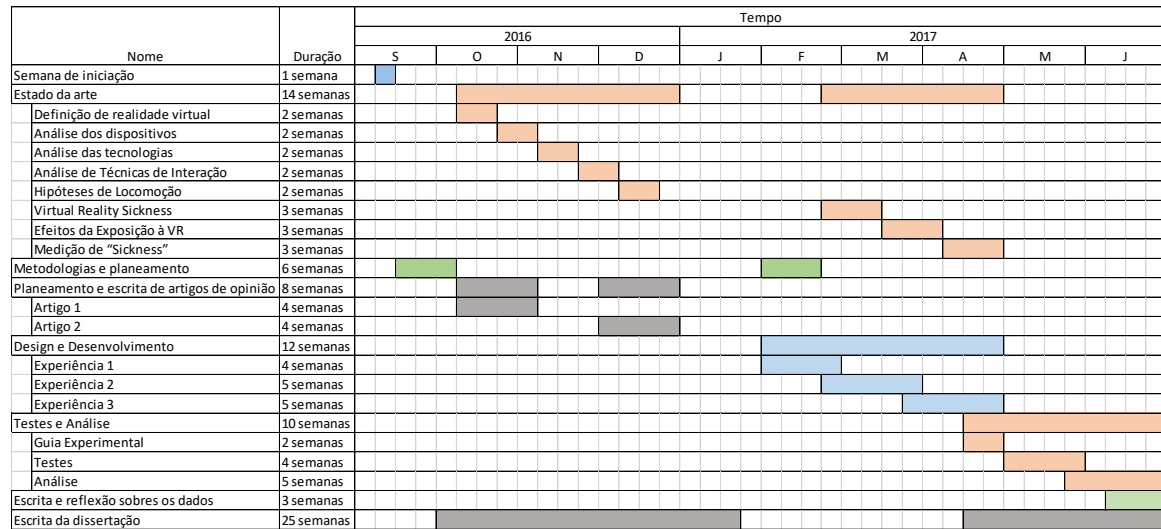


Figura 19 - Calendário do plano de trabalho

Capítulo 4.

Conceção e realização da experiência

O ponto de partida do processo de *design* desta experiência ocorreu no momento de definir o seu objetivo e determinar quais os parâmetros/atributos que possibilitavam a obtenção de dados para análise.

Sendo o objetivo principal deste estudo - "Analisar os níveis de cinetose provocados pela locomoção em ambientes virtuais" apresenta-se, no presente capítulo, todos os considerandos tidos em linha de conta para o desenvolvimento do design da experiência.

Será importante referir que a locomoção se traduz na ação, do utilizador, ao movimentar-se de um local para o outro. E, tal como é definido no capítulo 2, a cinetose na locomoção pode ser provocada por movimentos não reais durante a deslocação/movimentação, do utilizador, num ambiente virtual. Como, na realidade virtual, o utilizador não se pode deslocar normalmente ou tem uma área muito reduzida de deslocação, este ambiente obriga o uso de técnicas de locomoção "não reais" que simulem a perceção daquela realidade, podendo provocar sintomas indesejáveis.

4.1. Design da experiência

Para o desenvolvimento da experiência, começou por se criar um cenário que simulava um ambiente de jogo. Este foi construído com o intuito de não provocar qualquer tipo de cinetose.

Cenário



Figura 20 - Cenário da experiência

O cenário virtual da experiência, tal como mostra a Figura 20, foi construído tendo como base de inspiração o jogo que está a ser desenvolvido pela empresa acolhedora, retratando este um ambiente de deserto.

Este cenário, constituído por um percurso, foi proposto a todos os participantes para que o percorressem usando, para o efeito, diferentes tipos de deslocação (estes explicados no próximo subcapítulo). Em todos os testes realizados, foi sempre utilizado o mesmo *design* do percurso (como ilustrado na Figura 21). No entanto, a distância do ponto de partida ao ponto de chegada variou consoante a velocidade definida em cada tipo de deslocação, de forma a que todos os testes tivessem uma duração média idêntica entre eles (de um minuto em média).

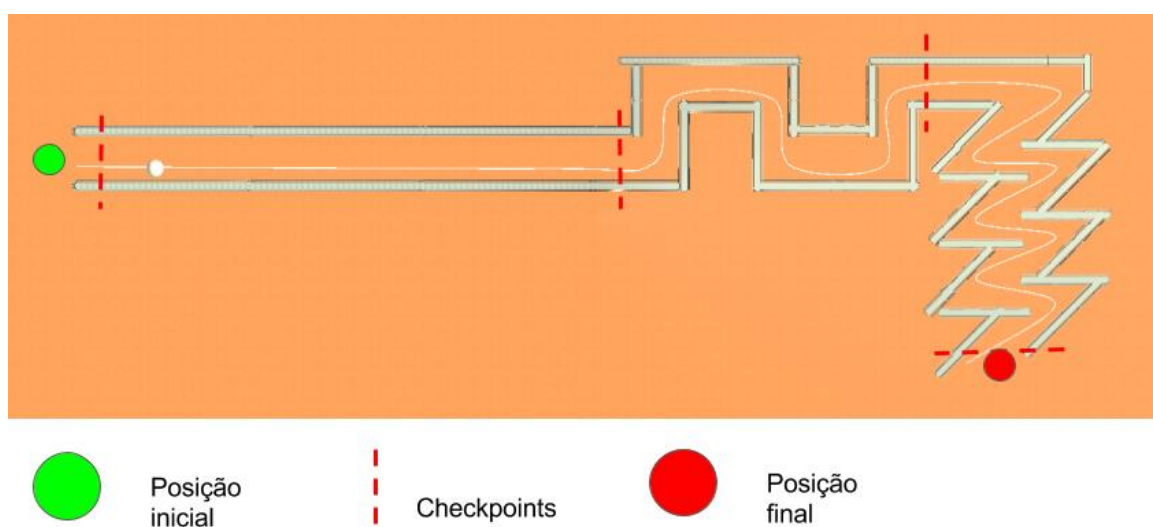


Figura 21 - Representação do percurso

O percurso foi dividido em três secções (de forma a causar ou simular alterações de equilíbrio – “*simulation sickness*”), obrigando todos os participantes a seguir um caminho bem definido e a realizarem as mesmas ações:

- Primeira secção: Linha reta
- Segunda secção: Curvas de 90°
- Terceira secção: Curvas de 135°

As várias secções estão ilustradas nas três figuras seguintes.

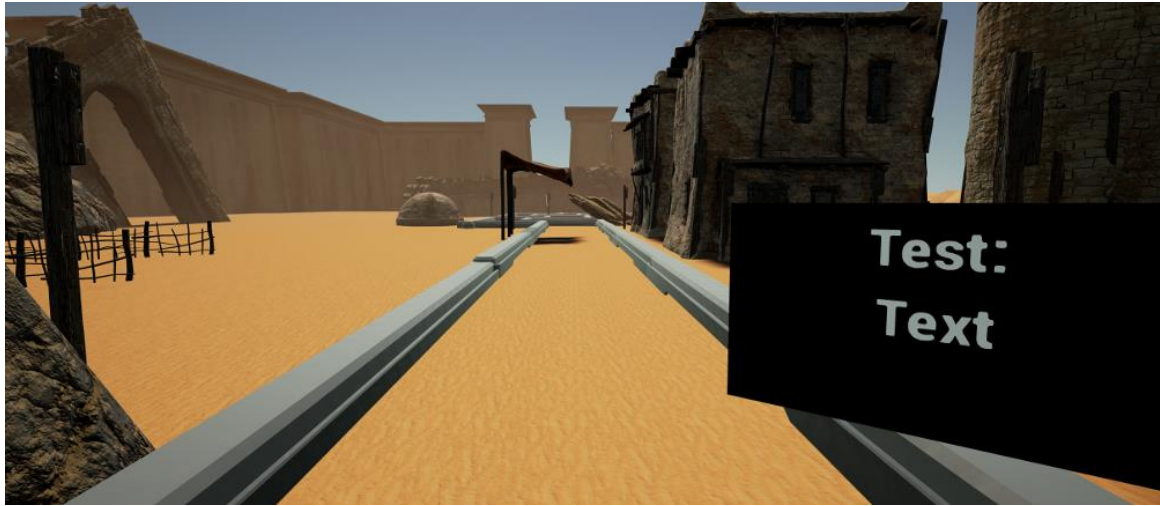


Figura 22 – Primeira secção: linha reta

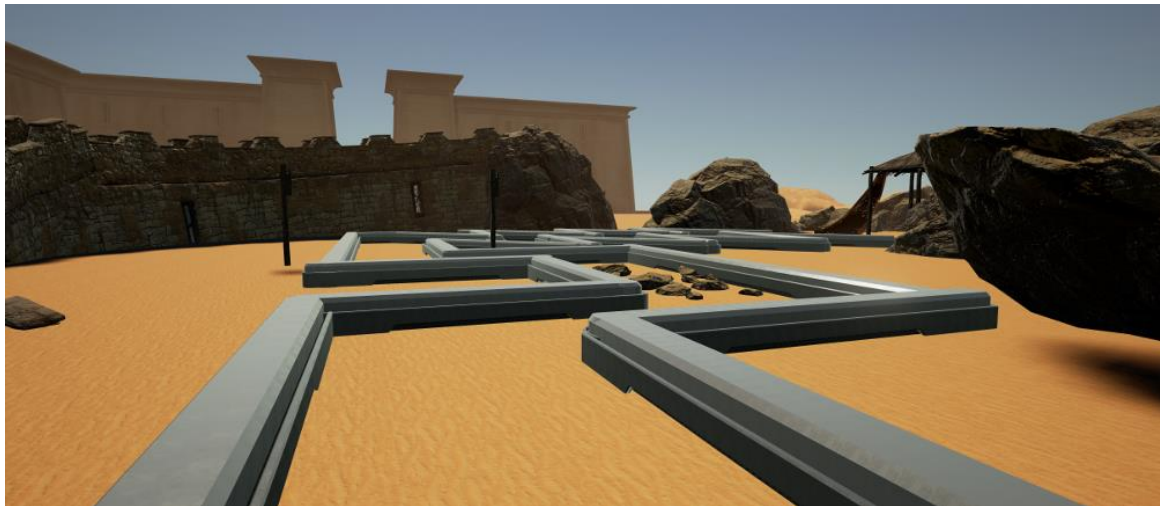


Figura 23 – Segunda secção: curvas de 90°

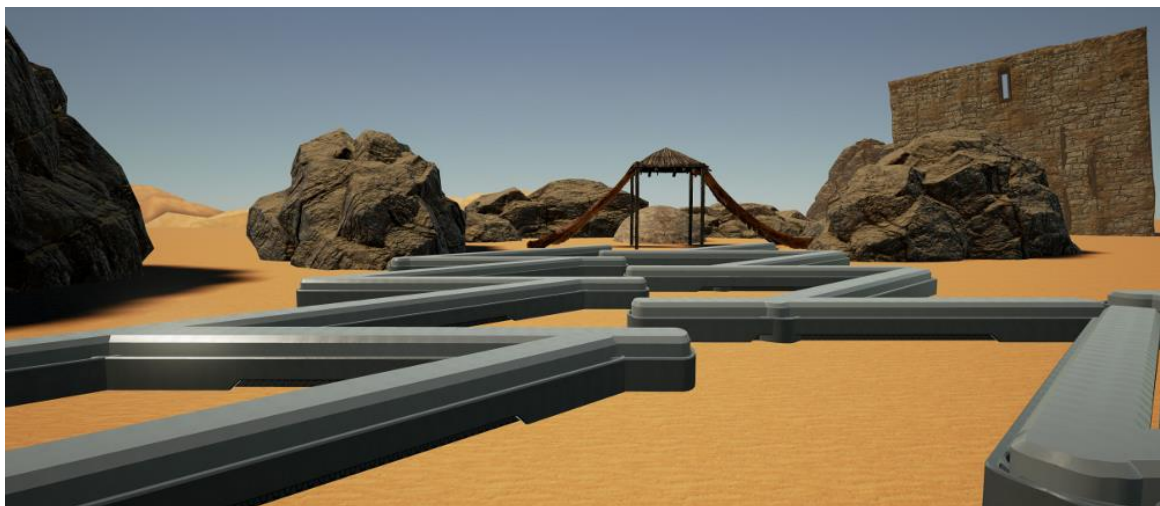


Figura 24 – Terceira secção: curvas de 135°

Capítulo 4 – Conceção e realização da experiência

Ao longo do percurso colocaram-se “*checkpoints*”, para registo dos tempos de realização, de cada participante no final de cada secção percorrida, permitindo, assim, obter tempos parciais e totais, por teste por participante.

Para que os participantes pudessem ter a sensação de movimento, o ambiente envolvente do percurso apresenta alguns apontamentos fixos, tais como edifícios, paredes e estruturas em ruínas (como se pode ver na Figura 25).



Figura 25 - Detalhes do cenário

Após construção do cenário, passou-se à fase de desenvolvimento de três tipos de deslocação, de forma a simular diferentes formas de locomoção no ambiente virtual. Cada deslocação focou-se num atributo específico, a saber: velocidade, aceleração e rotação.

Estes atributos foram selecionados com base na pesquisa realizada para este efeito, em bibliografia existente sobre os assuntos em questão, a qual se encontra referenciada no Estado da arte (Capítulo 2.5), como sendo aqueles que interferem na cinetose. Para estes são efetuadas manipulações dos seus valores (em situações experimentais), possibilitando a obtenção de níveis quantificáveis de cinetose.

Tipo de deslocação 1

No tipo de deslocação 1 pretendeu-se testar o parâmetro – velocidade. Simulando a deslocação a pé do participante, dá-se a possibilidade de este percorrer distâncias no mundo virtual.

Para isso, partiu-se do conceito de *Walking-in-place* (Capítulo 2.8) como base para o seu desenvolvimento. Este conceito apresenta várias formas de definir a direção do movimento, sendo que as consideradas mais importantes são a direção do olhar ou a direção pelo apontar do comando.

Foi tomada a decisão de se definir, como a utilizar nesta experiência, a direção pelo apontar do comando, isto porque a direção do olhar, apesar de poder ser considerada mais intuitiva, apresenta limitações na deslocação. Ou seja, o participante não poderá ser capaz de olhar em volta ao mesmo tempo que anda. Como o jogo que a empresa de acolhimento deste estágio está a desenvolver é um *multiplayer*, este requer que os vários jogadores, além de se terem de deslocar, tenham a capacidade de estar atentos ao seu meio envolvente. Assim, tornou-se como requisito principal que o movimento da cabeça do jogador fosse independente do movimento da deslocação. Bastando que o utilizador aponte com a mão para a direção pretendida e pressione o botão no comando para iniciar o movimento.

De seguida foi necessário implementar um sistema que não permitisse que jogador, quando em movimento, entrar pelas geometrias e modelos 3D. Assim, quando se inicia o movimento com o comando, é criada uma esfera de colisão que verifica se o jogador não está a colidir com nenhum objeto no mundo virtual. Caso esteja, esta bloqueia o *input* do comando para que o jogador não possa avançar mais naquela direção, sendo obrigado a desviar-se ou a escolher outro caminho.

Por fim, foram definidos três valores para a velocidade, para que se pudesse verificar qual deles provocaria menos cinetose nos jogadores.

As velocidades estabelecidas como unidades de medida são as indicadas abaixo, expressas em centímetros por segundo, por ser esta a unidade usada no motor de jogo Unreal Engine.

- $V1 = 111.1 \text{ cm/s} = 4 \text{ km/h}$
- $V2 = 222.2 \text{ cm/s} = 8 \text{ km/h}$
- $V3 = 333.3 \text{ cm/s} = 12 \text{ km/h}$

O primeiro valor foi escolhido a partir de um artigo científico [51] que demonstra que a velocidade média relativa ao andar de uma pessoa de estatura normal é de 111.1 cm/s (4km/h). Para se obter o segundo valor foi duplicado o primeiro e o terceiro valor foi triplicado o primeiro valor.

Nesta deslocação não se alteraram os valores relativos à aceleração e relativamente ao parâmetro rotação, que é somente dado pelo movimento físico do corpo do jogador (numa escala de 1:1), sendo a velocidade o único parâmetro variável, alvo de estudo/análise.

Tipo de deslocação 2

No tipo de deslocação 2 pretendeu-se testar o parâmetro - aceleração.

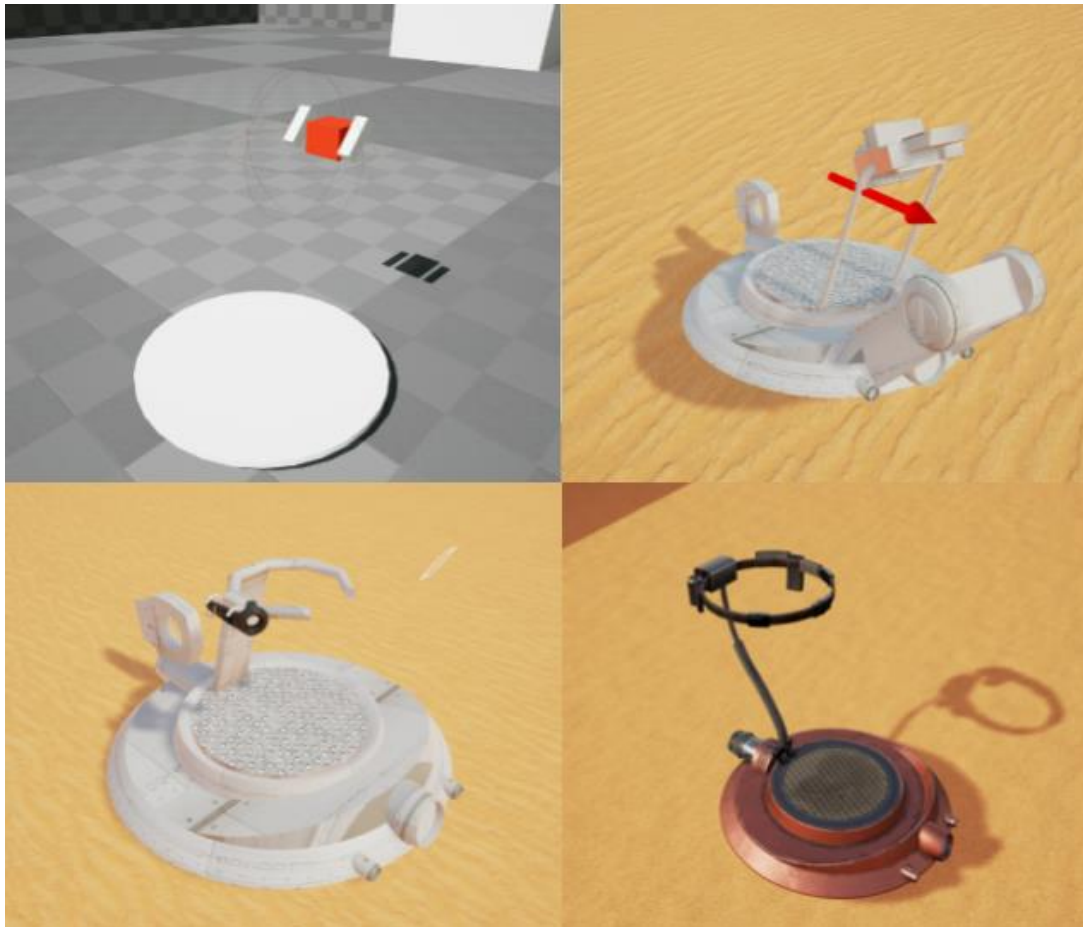


Figura 26 - Modelo do tipo de deslocação 2

Partindo-se do conceito do *Cockpit/Vehicle*, referenciado no capítulo 2.8., desenvolveu-se um veículo de forma a poder ser conduzido pelos participantes, tendo a capacidade de atingir a velocidade máxima de 50 km/h (limite de velocidade de um veículo dentro de uma localidade).

A interação com este veículo é semelhante ao do tipo de deslocação 1. Quando o utilizador se encontra em cima do veículo, pode pegar num comando virtual que se encontra no seu interior, possibilitando o seu controlo. O esquema de interação é igual ao do primeiro tipo de deslocação. Apontar o comando dá a direção da deslocação, e carregar no botão faz com que inicie o movimento.

A aceleração é o único parâmetro estudado, sendo esta a sua fórmula de cálculo:

$$A (cm/s^2) = \frac{\Delta V (cm/s)}{\Delta T (s)}$$

Tendo em conta o valor da velocidade constante que se pretende atingir, obtém-se o seguinte gráfico, ao atribuímos vários valores ao fator tempo.

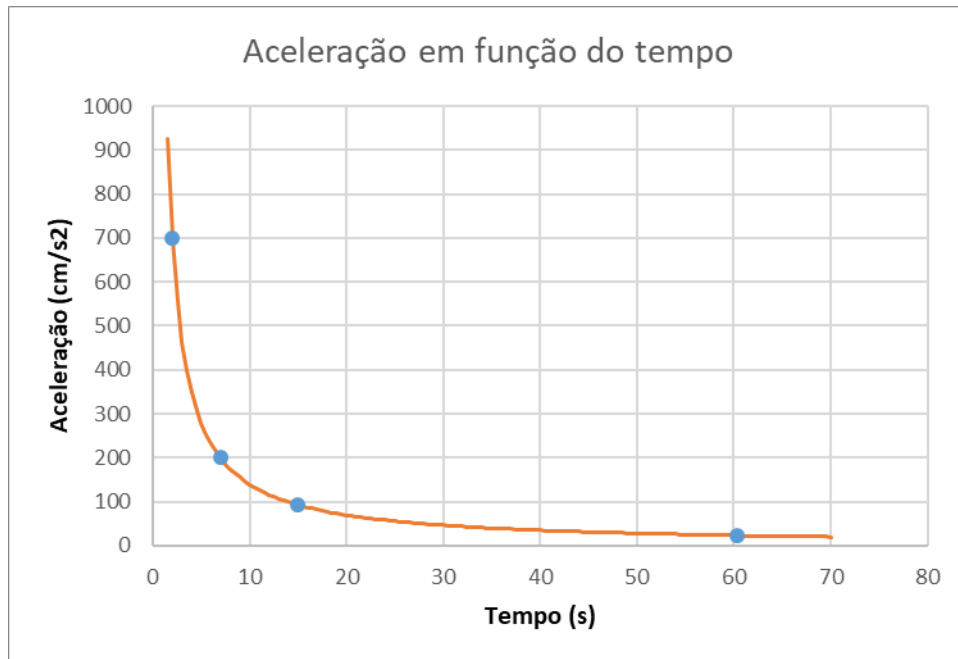


Figura 27 - Gráfico da aceleração função do tempo

Através da Figura 27 extraiu-se quatro pontos para a aceleração. Dois deles nos extremos e os outros dois perto da curva do gráfico.

- $V = 1389 \text{ cm/s}, T = 60.39 \text{ s}, A1 = 23 \text{ cm/s}^2$
- $V = 1389 \text{ cm/s}, T = 14.93 \text{ s}, A2 = 93 \text{ cm/s}^2$
- $V = 1389 \text{ cm/s}, T = 6.945 \text{ s}, A3 = 200 \text{ cm/s}^2$
- $V = 1389 \text{ cm/s}, T = 1.98 \text{ s}, A3 = 700 \text{ cm/s}^2$

Estes foram os valores usados nos testes da experiência.

Tipo de deslocação 3

No tipo de deslocação 3, pretendeu-se testar valores para o parâmetro – rotação.

Para tal, desenvolveu-se um modelo capaz de simular, aos participantes, a sua deslocação sobre um animal (dando-lhes a ilusão de o conduzir).

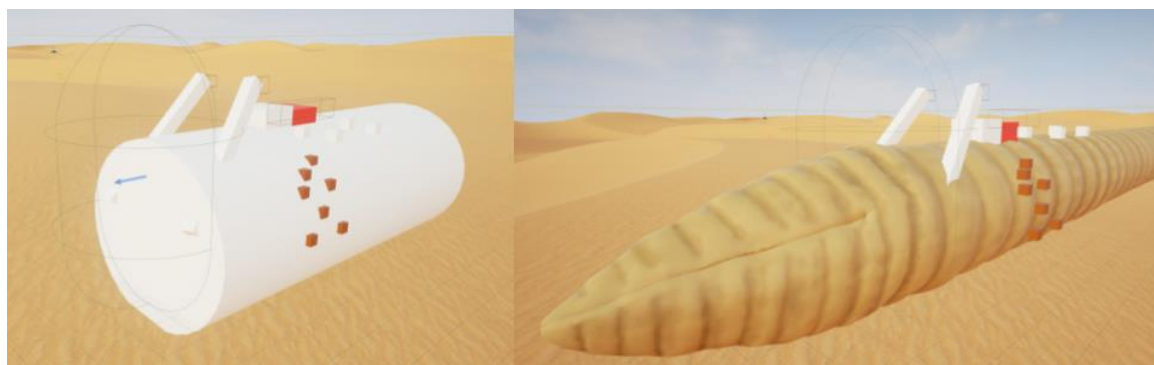


Figura 28 - Modelo do tipo de deslocação 3

Da pesquisa realizada para contextualizar o presente estudo, tal como ficou exposto no capítulo do Estado da arte (Capítulo 2.5), retirou-se a ideia de que o parâmetro que provoca mais cinetose, quando usado em jogos virtuais, é o parâmetro da rotação. Para se poder usar a rotação nessas situações, é aconselhado o seu uso com alguns cuidados de forma a reduzir a cinetose. Rodar o jogador no mundo virtual diretamente, provoca desorientação e interfere com o sistema vestibular, uma vez que os ouvidos enviam ao cérebro a informação de que não houve movimento, enquanto que os olhos enviam informação contrária. Uma maneira de reduzir este efeito é, em vez de se fazer rodar só o utilizador, é fazer rodar uma área ou plataforma maior onde este se encontra. Esta situação permite que o cérebro identifique que as diferenças de movimento que se fazem sentir são mais realistas, pois o cérebro recebe informação cinestésica (das zonas periféricas do corpo) de que se está a rodar sobre uma plataforma e que não é o próprio indivíduo/corpo a rodar.

Ao utilizar-se uma área/plataforma de base, fornece, igualmente um ponto de referência estático em relação ao utilizador, reduzindo assim os efeitos causados pela rotação, já que o utilizador só vê uma parte do mundo digital a rodar.

Por outro lado, é de referir que, ao se criarem contextos que justificam a rotação, estes permitem ir ao encontro das expectativas do utilizador, tornando-se um facto de redução de cinetose.

Assim, fez-se uso do conceito de *Roomscale Vehicle* (Capítulo 2.8) que permite pegar na área jogável e torná-la num veículo enorme.

Foi criada, para o efeito, uma criatura (*SandWorm*), como se pode ver na Figura 28, onde o participante se coloca/posiciona no seu topo, podendo andar livremente numa escala de 1:1 no dorso da mesma. Nesta situação, é construída a percepção no utilizador de que a deslocação é realizada pela própria criatura.

Foi também criado um sistema de cordas, para que os utilizadores pudessem experimentar a sensação de controlar os movimentos da criatura (Figura 29), como se de rédeas se tratassem. Presas de cada lado da boca, dando a possibilidade, ao utilizador, quando pega em cada ponta da corda, dar início ao movimento constante e em frente. Necesita de puxar a corda para um dos

lados para ativar a rotação angular, alterando a direção do movimento, nesse sentido.



Figura 29 - Modelo do sistema de cordas

A interação foi criada por duas cordas que, quando o utilizador as agarra, dão início ao movimento da criatura. Este só tem que puxar as cordas, para um dos lados, de forma a dar início à rotação.

Esta deslocação realiza três testes, em que, desta feita, a velocidade é mantida constante, sendo diferentes os valores da rotação angular, em cada teste. A saber:

- $R1 = \frac{\pi}{3} \text{rad/s} = 60^\circ/\text{s}$
- $R2 = \frac{\pi}{2} \text{rad/s} = 90^\circ/\text{s}$
- $R3 = \frac{2\pi}{3} \text{rad/s} = 120^\circ/\text{s}$

Estes valores foram conseguidos através de experimentação própria. Verificou-se que, com valores abaixo dos $60^\circ/\text{s}$, a rotação era realizada de forma demasiado lenta para se pressentir o movimento e que, com valores acima dos $120^\circ/\text{s}$, a rotação se tornava de difícil controlo, causando desorientação e náuseas nos utilizadores.

Assim, finalizou-se o processo de desenvolvimento dos três tipos de deslocação, sendo que o próximo passo seria o de criar um sistema de recolha de dados para serem mais tarde analisados.

Recolha de dados

Os documentos relativos ao consentimento informado bem como ao Non-Disclosure Agreement (NDA) foram entregues aos participantes em formato de papel (anexos D e E respetivamente). Estes servem para garantir que cada participante se encontra informado do que vai acontecer na experiência e, ainda, que não poderá divulgar as informações relacionadas com os testes realizados.

Capítulo 4 – Conceção e realização da experiência

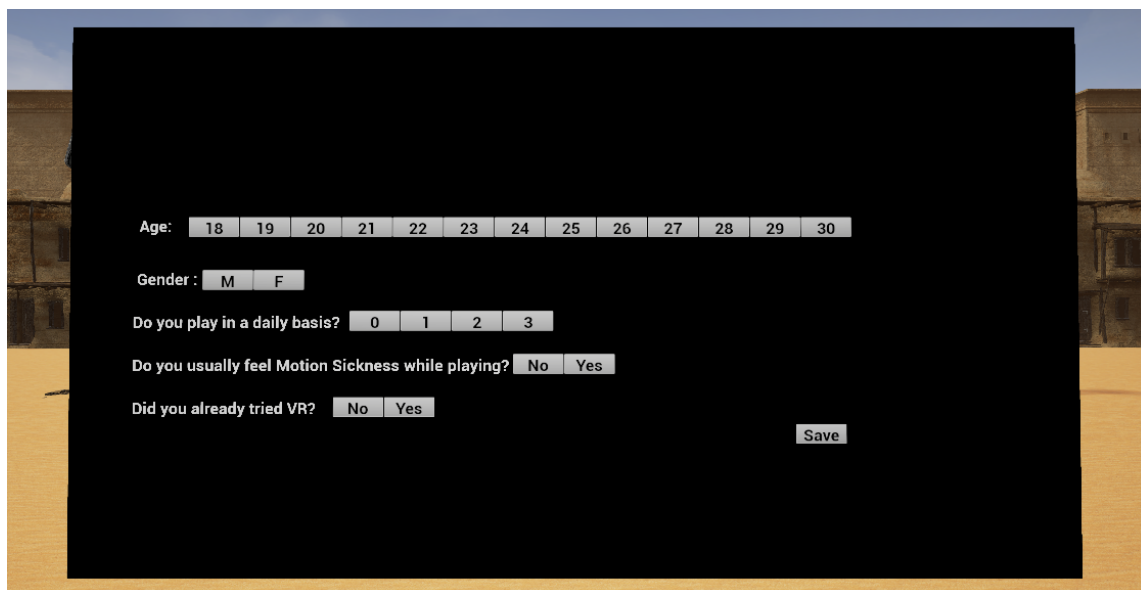
Para poder recolher informações sobre os diferentes testes efetuados, para cada deslocação, foram construídos três questionários diferentes:

- Questionário de informação pessoal
- Questionário de preferência
- Questionário de Simulation Sickness (SSQ mencionado no capítulo 2.7 Figura 9)

Estes questionários e a recolha dos tempos de percurso foram registados pela própria simulação. Todos os dados foram guardados num ficheiro CSV com o formato indicado no Anexo F.

Assim, foi possível recolher informações detalhadas sobre o efeito de cada parâmetro em cada participante. Os resultados e a sua análise estão explanados no capítulo 5.4.

As figuras Figura 30, Figura 31 e Figura 32 demonstram os vários questionários que são apresentados ao participante no decorrer da simulação. O primeiro recolhe as informações pessoais de cada participante, tais como: idade, género, se já alguma vez experimentou VR, se costuma jogar diariamente e se costuma ter cinetose quando joga. Os dados recolhidos nesta fase permitem caracterizar os participantes, bem como realizar cruzamento de dados/resultados após a análise das informações recolhidas no Simulation Sickness Questionnaire (SSQ).



The image shows a personal information questionnaire overlaid on a VR environment. The questionnaire is displayed on a black background with white text and buttons. The questions and their corresponding input options are:

- Age: 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
- Gender: M, F
- Do you play in a daily basis? 0, 1, 2, 3
- Do you usually feel Motion Sickness while playing? No, Yes
- Did you already tried VR? No, Yes

A "Save" button is located at the bottom right of the questionnaire.

Figura 30 - Questionário de informação pessoal

O segundo questionário é o Simulation Sickness Questionnaire (SSQ), onde são apresentadas 16 questões ao participante, sobre como se sentiu no fim de cada teste.

SIMULATOR SICKNESS QUESTIONNAIRE

Select how much each symptom below is affecting you right now

<p>1. General discomfort <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>2. Fatigue <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>3. Headache <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>4. Eye strain <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>5. Difficulty focusing <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>6. Salivation increasing <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>7. Sweating <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>8. Nausea <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p>	<p>9. Difficulty concentrating <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>10. Fullness of the Head <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>11. Blurred vision <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>12. Dizziness with eyes open <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>13. Dizziness with eyes closed <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>14. Vertigo <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>15. Stomach awareness <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p> <p>16. Burping <input type="button" value="None"/> <input type="button" value="Slight"/> <input type="button" value="Moderate"/> <input type="button" value="Severe"/></p>
--	---

Figura 31 - Simulation Sickness Questionnaire

Por fim, a cada participante, é apresentado um questionário de preferências no final de cada grupo de testes que compõe cada tipo de deslocação.

For this prototype

Wich velocity did you preferred the most?

For this prototype

Wich rotation did you prefer the most?

For this prototype

Wich acceleration did you preferred the most?

Figura 32 - Questionários de preferência

Tarefa

Para que a experiência tivesse sucesso foi necessário que os participantes completassem o percurso em todos os testes e que respondessem a todos os itens do SSQ, sem o qual não podiam avançar para o teste seguinte.

Medida de segurança

Durante a realização da experiência, foi dada a possibilidade, caso o participante se sentisse indisposto ou não pretendesse continuar com a experiência, de poder terminar a simulação de imediato, através de uma tecla do comando (Figura 33).

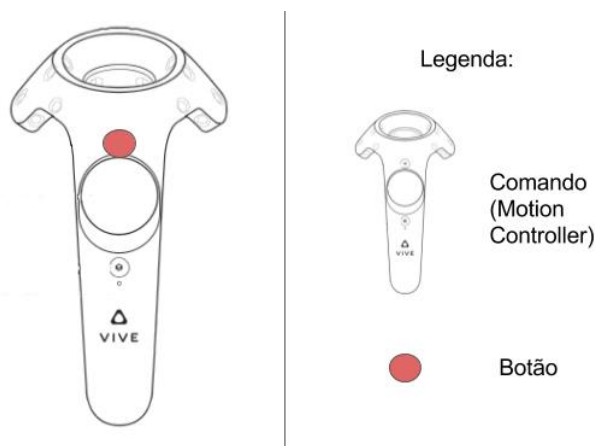


Figura 33 - Esquema do comando com a indicação de segurança

Uma vez a tecla pressionada, a simulação termina e guarda os únicos resultados que tem desse participante no CSV, deixando o resto em branco.

Realização da experiência

Tendo-se concluído o design da experiência, passa-se à descrição do processo e conjunto de testes que constituíram a execução da experiência.

A experiência é constituída por dez testes. Estes estão agrupados de acordo com cada uma das três deslocações construídas, sendo que em cada um se avaliam diferentes valores no que se refere aos parâmetros: velocidade, aceleração e rotação. Assim, a deslocação 1, que executa três testes, avalia o parâmetro velocidade; a deslocação 2, que executa quatro testes, avalia o parâmetro aceleração; e a deslocação 3, com três testes, avalia o parâmetro rotação.

A experiência começou com a apresentação de um questionário de informação pessoal onde foram recolhidos dados relativos à idade, género, qual a frequência de jogo por parte dos participantes, se costumam sentir cinetose enquanto jogam e se alguma vez experimentaram realidade virtual. As respostas a estas questões são importantes na medida em que, ao serem utilizadas, permitem caracterizar a população alvo, bem como verificar se existem variações significativas, no que se refere aos níveis de cinetose e às características dos participantes.

Logo de seguida, cada participante foi convidado a realizar a experiência/teste de forma sequencial e sucessiva, tal como demonstrado na Figura 34 e pela ordem indicada:

- V1 – Teste 1 avaliando a primeira velocidade
- V2 – Teste 2 avaliando a segunda velocidade
- V3 – Teste 3 avaliando a terceira velocidade
- A1 – Teste 4 avaliando a primeira aceleração
- A2 – Teste 5 avaliando a segunda aceleração
- A3 – Teste 6 avaliando a terceira aceleração
- A4 – Teste 7 avaliando a quarta aceleração
- R1 – Teste 8 avaliando a primeira rotação
- R2 – Teste 9 avaliando a segunda rotação
- R3 – Teste 10 avaliando a terceira rotação

No final de cada teste, foi apresentado aos participantes o questionário SSQ, e o questionário de preferências, que foi aplicado no final de execução de cada deslocação.

O conjunto dos dez testes e a resposta aos questionários (estes com duração média de um minuto cada) perfizeram uma duração média de vinte minutos por participante.

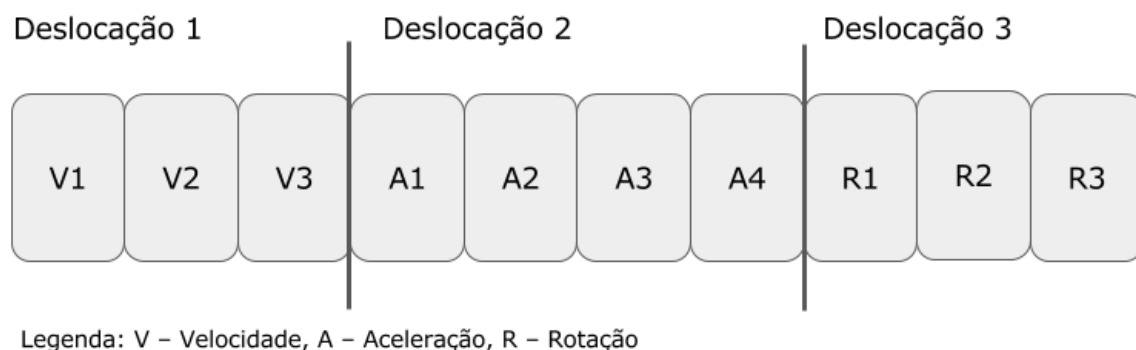


Figura 34 - Ordem cronológica da execução dos testes

Capítulo 5.

Testes, resultados e análise

Depois da realização da experiência, este capítulo tem como objetivo apresentar as questões logísticas que se tomou em conta e a sua preparação para a realização da experiência. Também, neste capítulo, se apresentam os dados recolhidos, bem como uma análise aos mesmos.

5.1. Logística e equipamento

Os testes foram realizados no Departamento de Engenharia Informática (DEI) da Universidade de Coimbra, na sala E4.5, proporcionando um espaço para a realização dos testes, bem como um local fechado, para que não houvesse qualquer interferência externa à experiência, permitindo privacidade aos participantes na realização da mesma.

No que respeita ao equipamento foi necessário:

- 1x computador fixo
- 1x ecrã/monitor
- 1x kit HTC Vive
- 2x extensões elétricas
- 2x escoras extensíveis ou outra forma de segurar as *Base Stations* a uma altura mínima de dois metros
- 1x auscultadores

O computador fixo tinha as seguintes características:

- Placa mãe: MSI 970 Gaming
- Processador: AMD Fx 8350 - 4.0 GHz
- Placa gráfica: AMD Radeon RX 480 – 8 GB

Foi ainda necessário ter o impresso do acordo de não divulgação (NDA) (Anexo E) e do consentimento informado (Anexo D) para que todos os participantes tomassem conhecimento e aceitassem as condições do estudo, assinando os respetivos documentos.

5.2. Preparação

Inicialmente e para garantir que os testes fossem realizados com sucesso, foi feito um *DryRun* com oito voluntários da comunidade Nest Collective (sendo a maioria estagiários do DEI). Assim, possibilitou a observação e reparação de falhas que a experiência apresentava. De notar que estes voluntários não estiveram elegíveis à realização da experiência propriamente dita, por terem tido contacto prévio com a mesma.

De seguida, realizou-se a divulgação do estudo através do e-mail interno da faculdade, pelo e-mail do núcleo de estudantes e através das redes sociais, tais como Facebook e Twitter. Por esta via, conseguiu-se chegar mais facilmente a todo o público-alvo e demais interessados na realização e participação no presente estudo.

5.3. Participantes

O perfil definido como ideal para que os participantes fossem considerados elegíveis para a realização da presente experiência foi:

- Serem estudantes ativos no DEI;
- Terem idade entre os 18 e os 30 anos;
- Serem saudáveis;
- Não terem tido contacto prévio com esta experiência.

A identificação do público alvo foi previamente caracterizada pela entidade acolhedora, tendo em conta o jogo que estavam a desenvolver. Projetado para que fosse utilizado por público jovem, saudável, até aos 30 anos, com formação superior, independentemente do género. Respondendo aos presentes requisitos, definiu-se o perfil acima apresentado, alvo do presente estudo, fazendo coincidir com as características da maioria dos estudantes da Universidade de Coimbra e em particular do Departamento de Engenharia Informática.

A partir do “Questionário de informação pessoal”, foi possível extrair os seguintes dados:



Figura 35 - Género dos participantes

Na Figura 35, demonstra o número total de participantes, 45, sendo 31 do sexo masculino e 14 do sexo feminino.

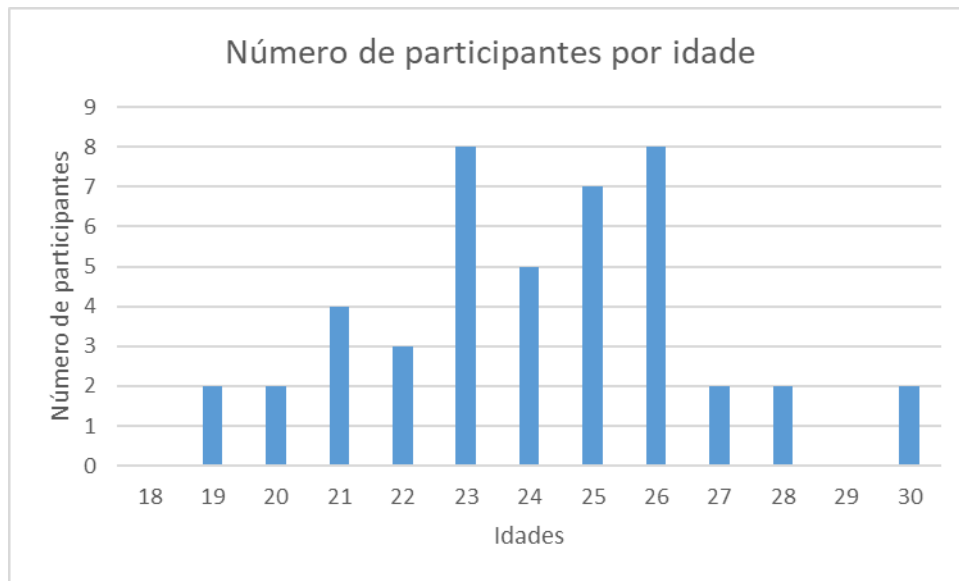


Figura 36 - Número de participantes por idade

No gráfico acima, pode-se verificar que os valores variaram entre os 19 e os 30 anos de idades, sendo que o maior número de participantes se concentrou entre os 23 e os 26 anos de idade.

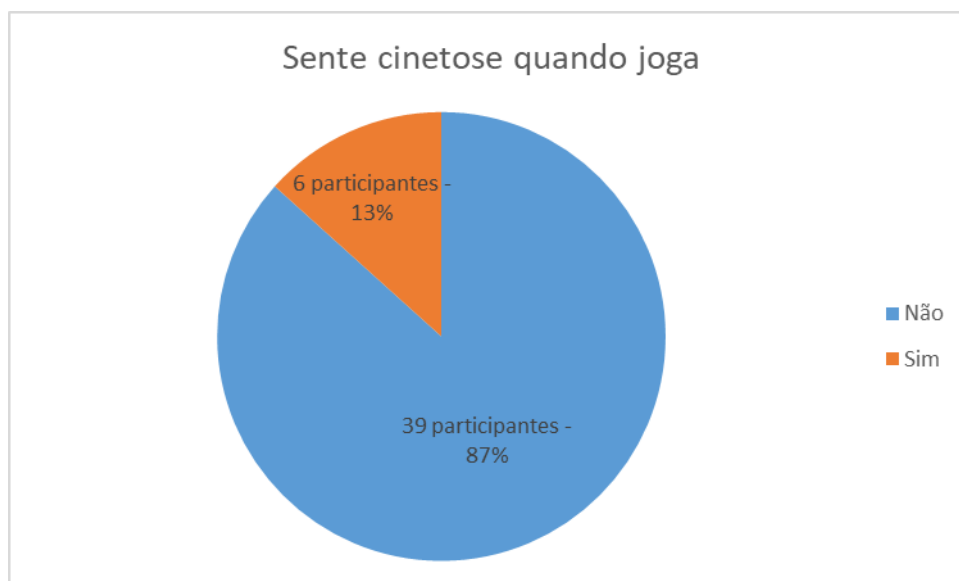


Figura 37 - Sente cinetose quando joga

Na figura acima, está representada a percentagem de jogadores que normalmente sentem cinetose quando jogam videojogos de computador ou consola, sendo que 13% da amostra referem ter sentido cinetose nesse tipo de situações.



Figura 38 – Percentagem dos participantes que já experimentaram realidade virtual

Nesta imagem observa-se que 60% dos participantes já tiveram contacto anterior com realidade virtual, enquanto que 40% nunca experimentaram realidade virtual.



Figura 39 - Percentagem de desistências

A última figura demonstra a percentagem de desistências durante a realização da experiência, sendo que 16% dos participantes terminaram a experiência prematuramente.

Os mesmos dados encontram-se representados na tabela seguinte:

Tabela 12 - Dados do questionário de informação pessoal

	Nº de participantes	Percentagem
Total	45	100%
Sexo masculino	31	69%
Sexo feminino	14	31%
Costuma sentir cinetose	6	13%
Não costuma sentir cinetose	39	87%
Já experimentou VR	27	60%
Nunca experimentou VR	18	40%
Concluiu a experiência	38	84%
Desistiu da experiência	7	16%

Todos os participantes reportaram estarem saudáveis, não apresentando sinais prévios de má disposição, tendo todos aceite e assinado o consentimento informado e o NDA (Anexo D e Anexo E respetivamente).

5.4. Resultados e análise

Neste subcapítulo são apresentados os dados recolhidos, sendo ainda efetuada uma análise e reflexão dos mesmos.

Os dados apresentados são fruto das respostas, dadas pelos participantes, aos três questionários já mencionados anteriormente.

No que se refere ao questionário SSQ, e de acordo com a explicação apresentada no capítulo 2.7, são analisadas as pontuações de Total Score (TS) obtidas. Estes valores variam numa escala de 0 a 235.62, em que zero (0) corresponde a não apresentação de sintomas e duzentos e trinta e cinco ponto sessenta e dois (235.62) corresponde à sensação da totalidade dos sintomas em grau máximo.

Análise do número de participantes e desistências

O número total de participantes, 45, foi alcançado aplicando o teorema da “Lei dos Grandes Números (LGN)”. Segundo este teorema, a média aritmética dos resultados tende a aproximar-se do valor real quando se repete várias vezes a mesma experiência. Isto indica que por meio de experiências suficientes é possível descobrir a probabilidade de um evento natural, ou de uma fração de uma população, satisfazer uma certa condição.

A seguinte imagem (Figura 40) apresenta os gráficos de linha que ilustram a LGN aplicada à experiência efetuada.

Capítulo 5 – Testes, resultados e análise

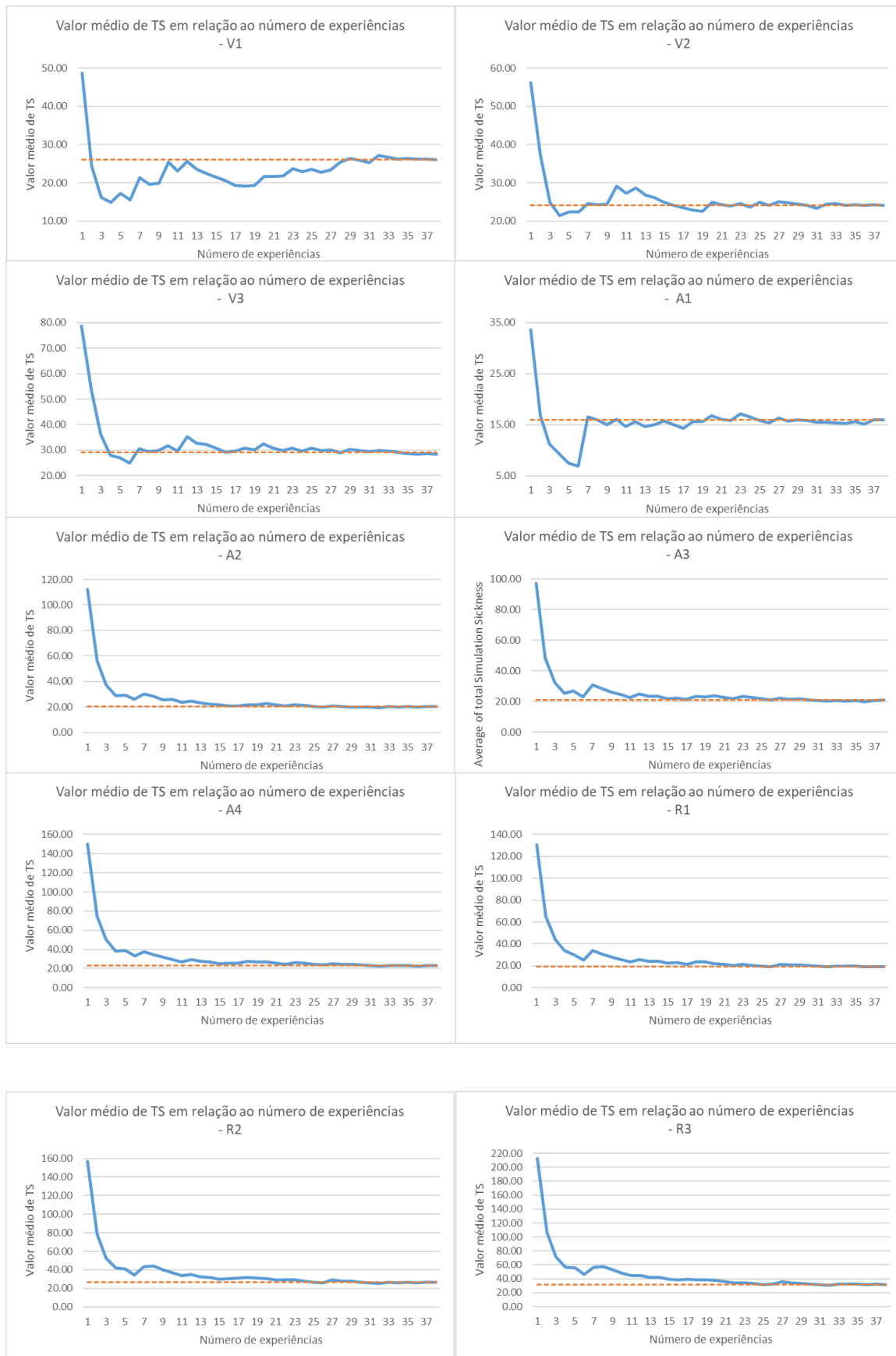


Figura 40 - Gráficos dos testes com a aplicação da LGN

Analisando-se os gráficos da Figura 40, podemos constatar que a média da pontuação TS (*Total Score* ou *Total Simulation Sickness*) em todos os testes converge. Observando o gráfico V3, como exemplo, a média de TS converge para $\mu = 40 \pm 0.5$. O mesmo se observa no gráfico R1 onde converge para $\mu = 38 \pm 0.5$. Todos os outros gráficos apresentam o mesmo comportamento. Concluiu-se assim, que ao adicionar mais participantes, estes não iriam afetar os resultados, assegurando que 45 é um número acima do suficiente de participantes para se proceder a uma análise de dados significativa, dado o perfil da população.

Para finalizar, sete participantes terminaram prematuramente a experiência por se sentirem indispostos, dos quais cinco dos sete foram do sexo feminino. Estes sete participantes traduzem-se em 16% do total de participantes, que vai ao encontro dos valores dos testes realizados por Stanney e Kennedy, já referidos no capítulo 2.6, onde concluem que as desistências variam de 12% a 19%.

Tabela 13 - Tabela representativa dos participantes desistentes

ID	V1	V2	V3	A1	A2	A3	A4	R1	R2	R3
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	-	-
20	✓	✓	✓	✗	-	-	-	-	-	-
28	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	-
31	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
37	✓	✓	✗	-	-	-	-	-	-	-
39	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
42	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	-

Na tabela, ✓ significa que o participante realizou o teste, ✗ representa o teste em que o participante desistiu, e - representa que o participante não efetuou o teste. Analisando a tabela, observa-se que o maior número de desistências aconteceu no tipo de deslocação 3, cujo parâmetro manipulado é a rotação. Apenas duas das sete desistências aconteceram nos outros dois parâmetros.

Pode-se afirmar que, relativamente a esta amostra, o parâmetro rotação é o que causa maior desconforto.

Como estes participantes não forneceram dados completos da experiência, foi tomada a decisão de não os incluir na análise dos valores de TS. Além disso, a sua inclusão iria criar uma discrepância nos resultados, pois o número de participantes em cada teste não iria ser o mesmo. Para as considerações finais, ter-se-á, no entanto, em conta estes participantes que desistiram.

Análise em relação ao género

Pretende-se saber se o género dos participantes influencia o nível de TS e quais os fatores causadores dessa diferença.

Capítulo 5 – Testes, resultados e análise

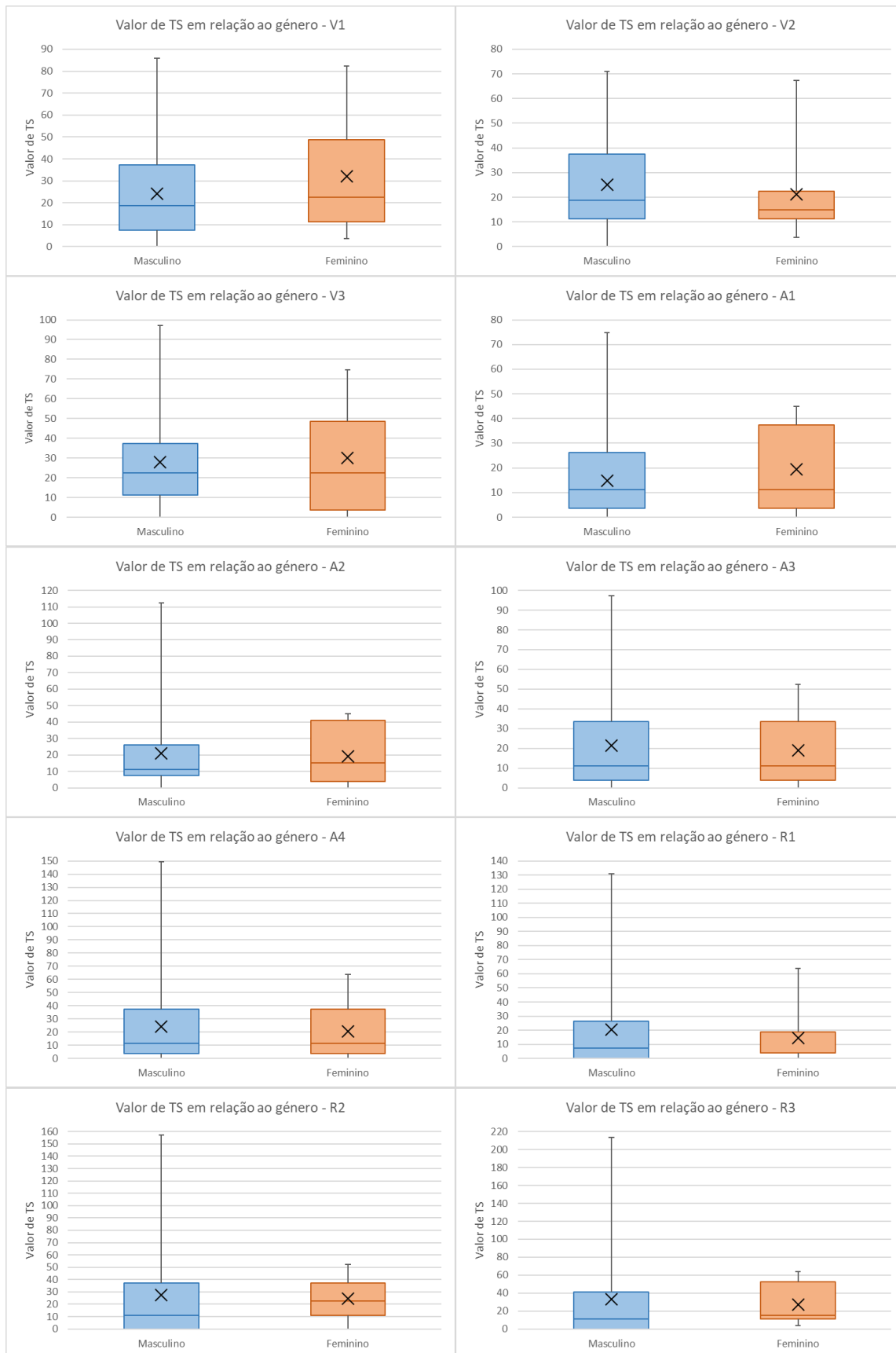


Figura 41 - Gráficos dos valores de TS em relação ao género

Da análise dos gráficos acima verifica-se que, de uma forma geral, a mediana (50% da amostra) tanto masculina e feminina, assume exatamente o mesmo valor de TS entre si na maioria dos testes.

Nos gráficos V1, V2 e V3 observa-se que 75% da amostra (terceiro quartil) do sexo masculino mantêm os mesmos valores de TS ($\mu = 37.4$), enquanto o sexo feminino apresenta um valor mais baixo no gráfico V2 em relação aos outros dois (uma diferença de 26 pontos de TS).

Observa-se igualmente que nos gráficos V1, V3, A1 e A2 o sexo feminino apresenta um desvio padrão maior que o sexo oposto. Este valor iguala-se nos testes A3 e A4. Por sua vez, nos gráficos da rotação o sexo feminino apresenta um desvio padrão muito menor que no sexo masculino.

Embora o valor médio entre ambos os sexos seja idêntico, considerando a totalidade dos testes, verifica-se que o sexo masculino apresenta valores mais extremos, mas com um desvio padrão baixo. Assim, o sexo feminino tende a apresentar valores mais dispersos no intervalo menor, enquanto que as respostas do sexo masculino, apesar de apresentarem um intervalo de valores maior, se mantêm mais constantes.

Podemos então inferir que nos testes de velocidade, a velocidade 2 se apresenta como o melhor valor, uma vez que no sexo feminino apresenta um desvio padrão mais baixo, não se discriminando diferenças no sexo masculino. No que respeita à aceleração tanto a terceira como a quarta aceleração, apresentam idênticos resultados em ambos os sexos. E por fim, no parâmetro rotação, é no R1 que se verificam valores menores para ambos os sexos e mais próximos um do outro.

Análise em relação aos que sentem previamente cinetose

Pretende-se analisar se existem diferenças significativas nas pontuações de TS entre os participantes que relataram sintomas de cinetose noutras situações (jogos normais de computador e consola) e os restantes participantes.

Capítulo 5 – Testes, resultados e análise

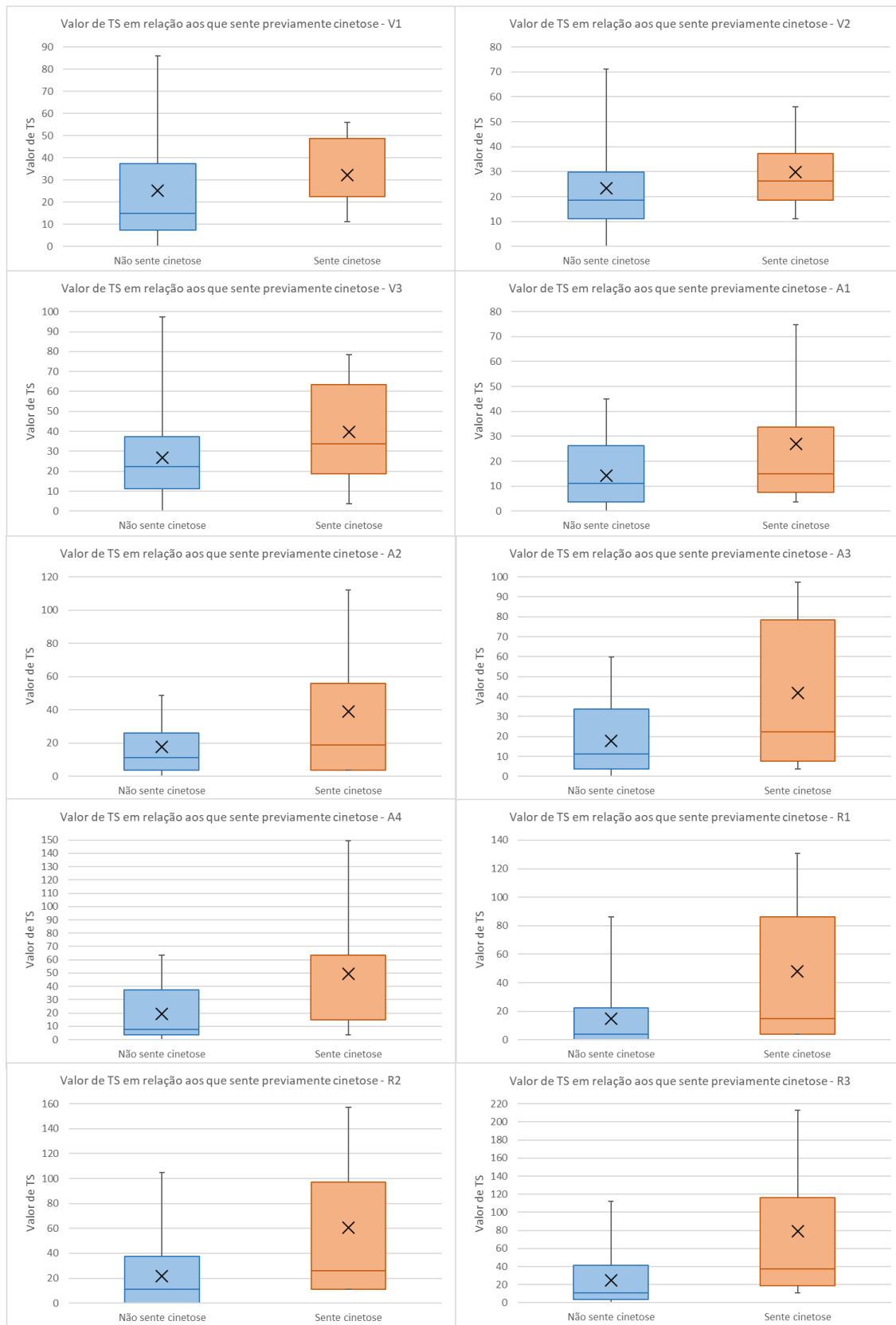


Figura 42 - Gráficos dos valores de TS em relação aos que sentem previamente cinetose

De forma geral, pode-se observar que existe uma grande diferença entre participantes que normalmente não sentem cinetose e os que sentem. Usando-se o gráfico A3 como exemplo, tanto no primeiro quartil como no segundo quartil (25% e 50% da amostra) obteve-se uma diferença de 10 pontos de TS. No terceiro quartil (75% da amostra) a diferença aumenta 45 pontos de TS, evidenciando uma diferença significativa. Todos os outros gráficos apresentam o mesmo tipo de comportamento.

Concluiu-se que utilizadores que previamente já sentem cinetose noutras situações, demonstram uma hipersensibilidade quando expostos à realidade virtual, demonstrando maior desvio padrão em todos os testes, em relação ao restante grupo.

Análise em relação à idade

Pretende-se analisar se existem diferenças significativas nas pontuações de TS entre os participantes de diferentes grupos etários. Foram elaborados os seguintes gráficos:

Capítulo 5 – Testes, resultados e análise

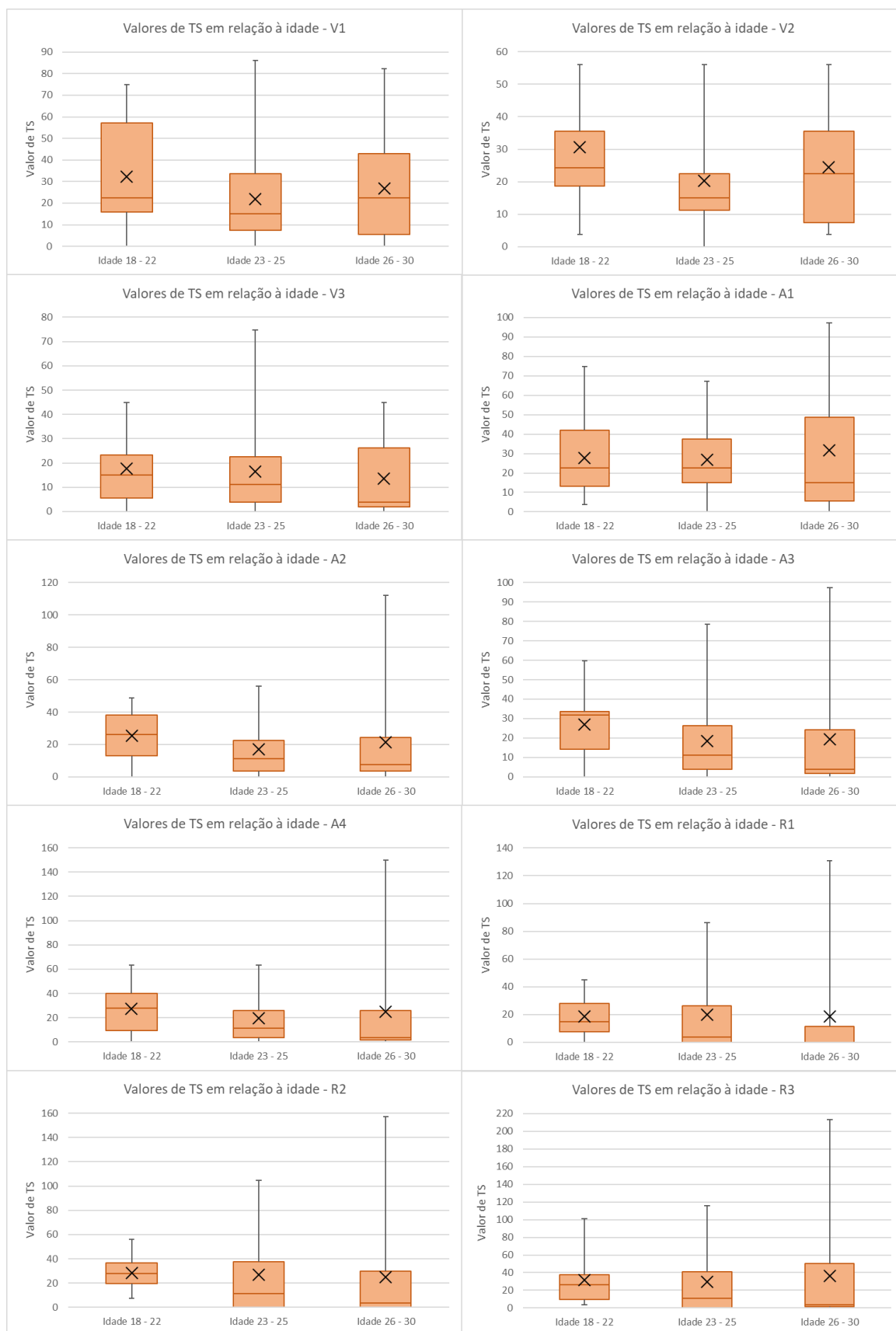


Figura 43 - Gráficos dos valores de TS em relação à idade

Nos gráficos da Figura 43 observa-se que, relativamente aos valores de velocidade, os participantes de idades compreendidas entre os 23 e 25 anos têm um valor mais extremo que os restantes. No entanto, nos testes relativos à aceleração e rotação, observam-se valores mais extremos nos participantes mais velhos (entre 26 e 30 anos).

Na maior parte dos testes, 75% da amostra, os vários grupos etários apresentam valores muito semelhantes ou com uma diferença de ± 10 valores de TS, o que não representa um valor muito significativo.

Concluiu-se, face aos resultados que não existe grande correlação entre os níveis de cinetose e os diferentes grupos etários do público-alvo. Havendo pequenas oscilações dos valores em cada grupo de participantes, estas não chegam a ser a ser significativas.

Análise em relação à experiência prévia com VR

Pretende-se estabelecer uma relação causal entre os participantes que nunca experienciaram VR e os que já experienciaram, no que respeita às sensações de cinetose e os resultados de TS.

Capítulo 5 – Testes, resultados e análise

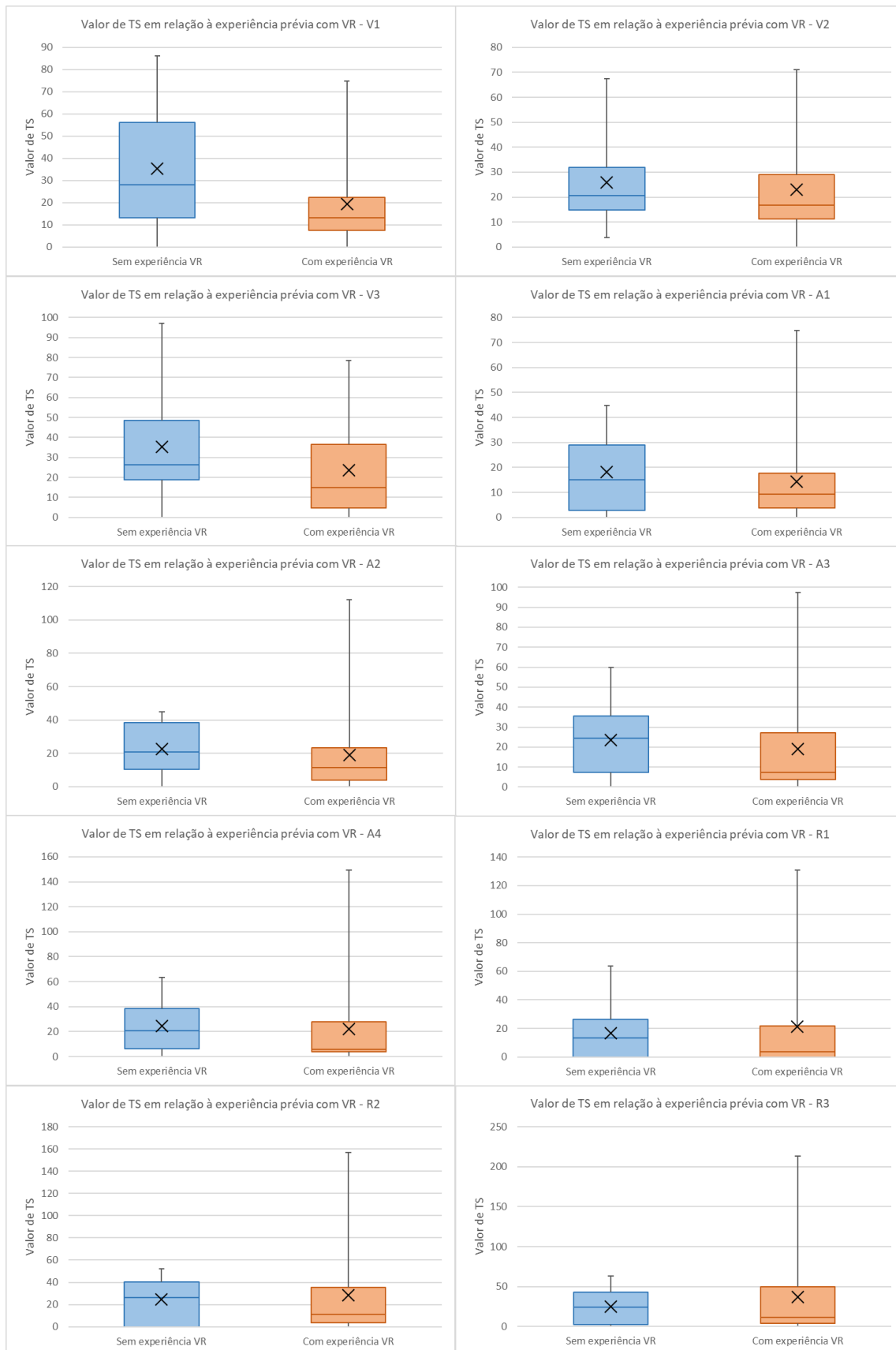


Figura 44 - Gráficos dos valores de TS em relação à experimentou prévia com VR

Da análise da Figura 44, pode-se verificar que no primeiro teste existe uma grande discrepância de resultados entre os que nunca experimentaram VR e os que já experimentaram VR. No entanto, ao longo dos testes, verifica-se uma tendência de aproximação dos valores obtidos entre uns e outros.

Mais concretamente, no teste A1, 50% da amostra dos que não experimentaram VR reportam uma pontuação de $TS = 28$, enquanto que 75% da amostra que têm experiência com VR, têm uma pontuação de $TS = 22.44$, o que mostra a discrepância significativa entre os dois grupos.

Por sua vez, analisando-se os resultados do último teste (R3), 75% dos dois grupos de participantes apresentam resultados de $TS = 43$ e $TS = 49$, respetivamente, o que demonstra uma aproximação de resultados.

Concluiu-se que os participantes que nunca experimentaram VR, no início apresentam uma hipersensibilidade, demonstrando alguma estranheza e desconforto. No entanto, à medida que se desenvolve a atividade de imersão na **VR** e se prolonga no tempo, os participantes apresentam um processo de habituação/adaptação ao ambiente e tendem para os mesmos valores que os participantes já experimentados.

Análise final

Nesta secção serão apresentados os resultados independentes dos vários parâmetros, a fim de se verificar quais os que causam menos desconforto de uma forma geral.

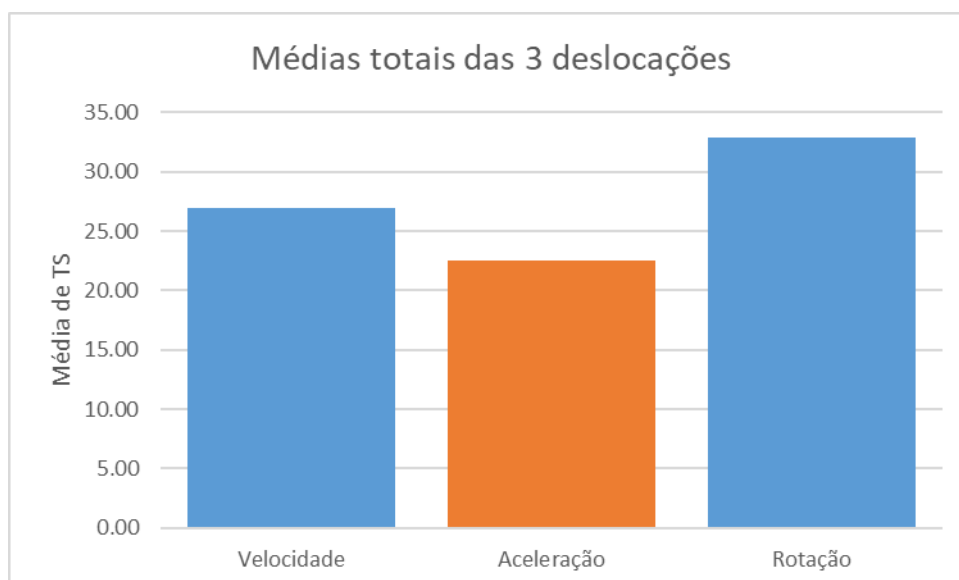


Figura 45 - Gráfico das médias totais das 3 deslocações

No gráfico anterior, apresenta-se a média dos valores obtidos nos três parâmetros em análise (velocidade, aceleração e rotação). Em média, a

deslocação 2 (relativo ao parâmetro aceleração) foi o que apresentou menores valores de TS, ou seja, aquele que causou menos sintomas de cinetose na globalidade dos participantes ($TS = 22.55$). A deslocação 1 (relativo ao parâmetro velocidade) obteve uma média de $TS = 26.95$. E a deslocação que apresentou maiores valores de TS com média de 32.8 foi a deslocação 3 (relativo ao parâmetro rotação), sendo este o que causou maior desconforto e desistências por parte dos participantes.

Assim, pode-se concluir que o parâmetro rotação é o mais suscetível de causar cinetose enquanto que o parâmetro aceleração será o menos suscetível.

Após a análise geral de cada um dos parâmetros (velocidade, aceleração e rotação) apresenta-se a média dos resultados TS em cada teste.

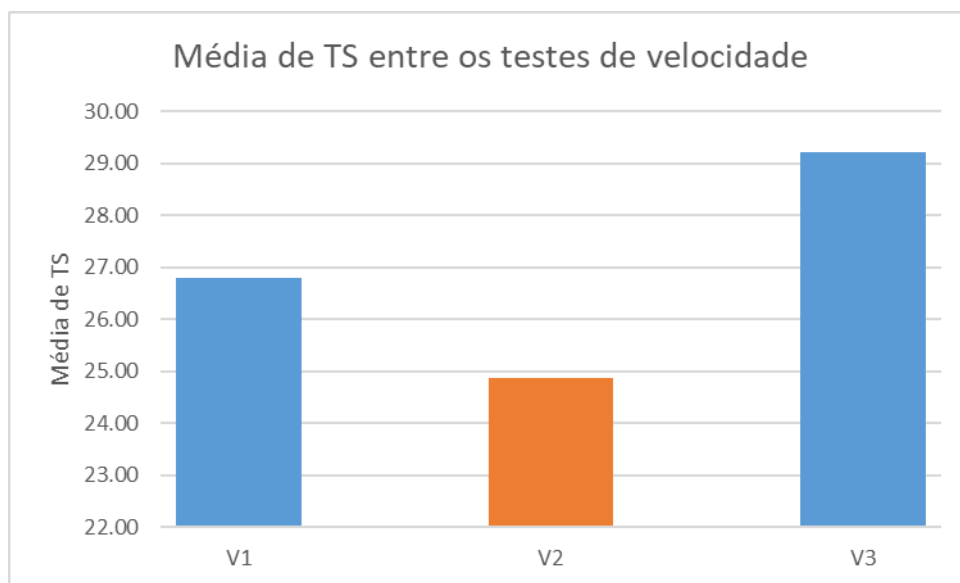


Figura 46 - Gráfico da Média de TS entre os testes de velocidade

A imagem acima corresponde ao gráfico dos dados obtidos nos testes realizados com a deslocação 1, parâmetro velocidade. Verifica-se que a segunda velocidade é a que causa menos cinetose, obtendo $TS = 24.87$. Uma diferença de ± 2 pontos entre o teste 1 e de ± 4 pontos entre o teste 3.

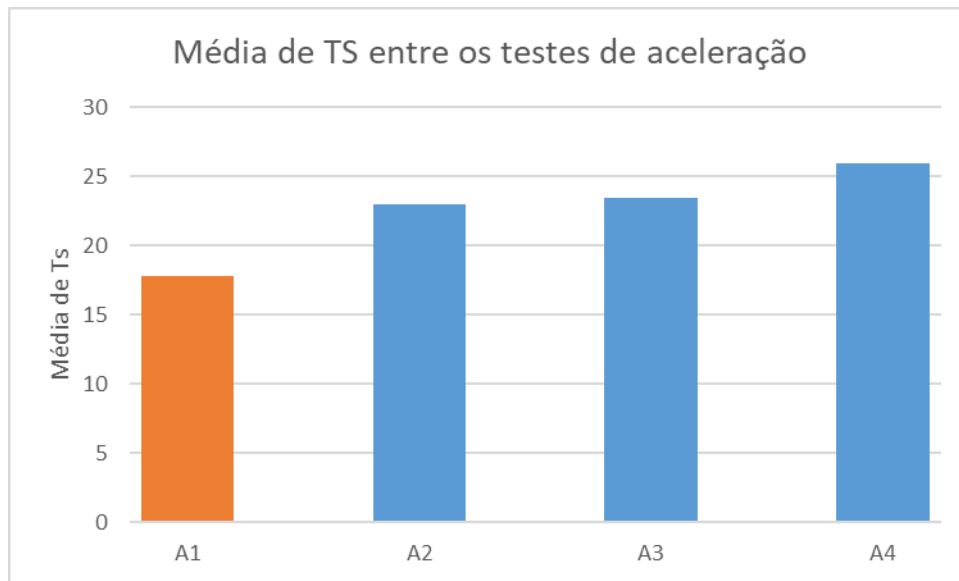


Figura 47 - Gráfico da Média de TS entre os testes de aceleração

A Figura 47 corresponde ao gráfico dos dados obtidos nos testes realizados com a deslocação 2, parâmetro aceleração. Verifica-se que a primeira aceleração é a que causa menos cinetose, obtendo $TS = 17.82$. Na segunda aceleração, obteve $TS = 22.99$, na terceira aceleração obteve $TS = 23.43$ e por fim, a que obteve resultados mais elevados de $TS = 25.96$, foi a quarta aceleração (em que o valor da aceleração era de 700cm/s^2 , comparativamente com o valor 23 cm/s^2 de aceleração usada no primeiro teste).

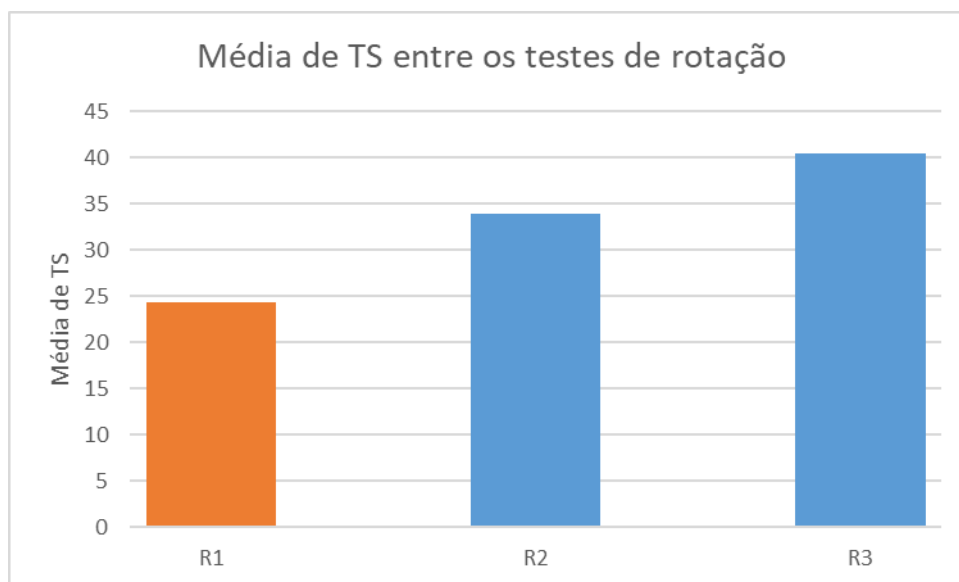


Figura 48 - Gráfico da Média de TS entre os testes de rotação

A imagem acima corresponde ao gráfico dos dados obtidos nos testes realizados com a deslocação 3, parâmetro rotação. Verifica-se que a primeira rotação é a que causa menos cinetose, obtendo $TS = 24.31$. Uma diferença de ± 10 pontos entre a segunda rotação e de ± 16 pontos entre a última rotação.

Tendo em consideração as conclusões retiradas dos vários testes, pode-se assumir que os valores que causam menos cinetose, relativos a cada um dos parâmetros, são: V2 (que corresponde a velocidade de 8Km/h no andar), A1 (que corresponde a uma aceleração de 23 cm/s²) e R1 (que corresponde a uma rotação angular de 60°/s).

Tendo em conta a presente conclusão, considera-se importante realizar uma análise comparativa entre esta e as escolhas/preferências indicadas por parte dos utilizadores, cujos dados foram obtidos através do “Questionário de preferências”, preenchido no final da execução de cada tipo de deslocação.

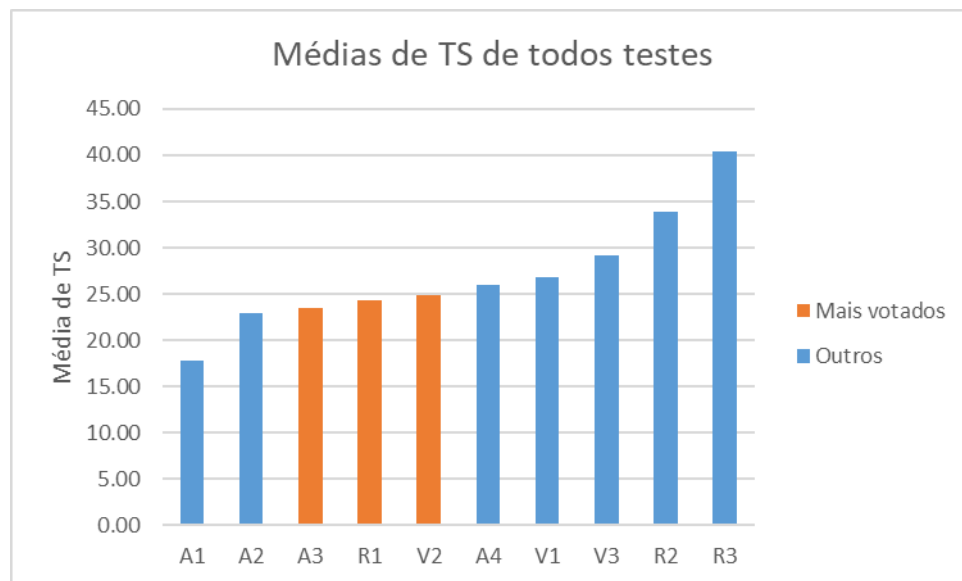


Figura 49 - Gráfico das Médias de TS de todos os testes

O presente gráfico representa os valores médios de TS por teste, ordenados de forma sequencial de acordo com os valores obtidos. No mesmo gráfico, as colunas de cor alaranjada representam as escolhas/preferências indicadas pelos participantes no “Questionário de preferências”. Assim, constata-se que os testes mais votados (com maior preferência) pelos participantes são: V2, A3 e R1.

Verifica-se concordância entre as escolhas dos utilizadores e as conclusões retiradas da análise dos dados, no que respeita aos testes V2 e R1 (parâmetros velocidade e rotação com melhores índices de conforto). No entanto, a preferência dos participantes pelo teste A3 (terceira aceleração) não coincide com o expectável, tendo em conta os dados analisados anteriormente, no que se refere ao parâmetro aceleração. Logicamente, seria de esperar uma escolha a cair no teste A1 (mais confortável) em vez da escolha pelo teste A3.

Observa-se que a escolha dos utilizadores incide nos testes onde os valores médios de TS variam entre 23 a 25. Estes valores são muito aproximados entre si e traduzem-se em sintomas de cinetose de grau semelhante.

Apesar de se poder considerar que, relativo ao parâmetro aceleração (A), a opção mais lógica poderia ser, por parte dos utilizadores, o teste A1 (aquele que apresenta valor mais baixo de TS) este não acontece, devido ao facto de

apresentar falta de realismo, demasiado lento e pouco motivador, segundo relatos transmitidos durante as sessões de testes pelos participantes. A escolha recaí sobre testes, cuja velocidade e rotação produzem valores de maior conforto; no entanto, no que se refere ao parâmetro da aceleração, os participantes optam por escolher o teste que possa produzir alguma instabilidade e aumentar a sensação de realismo.

Capítulo 6. Conclusão e trabalho futuro

Para a concretização da presente dissertação, foi efetuada uma pesquisa bibliográfica, a fim de reunir uma base teórica sólida acerca da realidade virtual (**VR**). Esta recolha foi fulcral quanto à definição e contextualização do tema, à sua evolução histórica e à sua aplicação ao longo dos tempos. Permitiu, igualmente, identificar os dispositivos/equipamentos disponíveis até ao momento, apresentando-se as suas principais características. Identificaram-se diferentes técnicas de interação vulgarmente usadas na realidade virtual, referindo-se os efeitos negativos das mesmas, nos utilizadores, bem como se aplicaram experimentalmente métodos quantitativos que permitiram a análise desses efeitos.

Todos os objetivos descritos no capítulo 1.2 foram concretizados e apresentam-se descritos ao longo deste documento, tendo a realização de um estudo experimental sobre “Analisar os níveis de cinetose provocados pela locomoção em ambientes virtuais” sido o principal objetivo atingido.

Para tal, foi construído um cenário virtual e três formas digitais que permitiram testar três tipos de deslocação diferentes. Cada um era referente a um determinado parâmetro, a saber: velocidade, aceleração e rotação. Estes parâmetros que foram identificados como sendo os principais causadores de cinetose na locomoção em ambiente virtual. Paralelamente, foram construídos questionários para recolha de dados, permitindo assim a sua análise.

Tendo em vista o controlo dos resultados e a possibilidade de se poder antecipar e mitigar riscos durante a realização da experiência, os quais pudessem pôr em causa a mesma, realizou-se um planeamento cuidadoso, tendo em conta a logística, meios de divulgação, espaço físico e realização de testes prévios para identificação de possíveis falhas.

O estudo experimental foi concretizado com a resposta voluntária de pessoas referenciadas como sendo público-alvo, em tempo real, que realizaram os vários testes da experiência conforme lhes foi solicitado. Através da Lei dos Grandes Números chegou-se ao número de 45 participantes, considerado suficiente para constituir a amostra, permitindo uma análise dos dados com valor significativo.

Através da análise e reflexão dos dados, foi elaborado um conjunto de recomendações, a ter em linha de conta no desenvolvimento de futuras aplicações e jogos em **VR** (que irão ser usadas pela entidade acolhedora):

- i. O melhor valor para a velocidade, que simula o andar, é de 8 km/h** – Através das conclusões retiradas, da Figura 46, definiu-se que dos três valores para a velocidade, o segundo foi aquele que causou menos cinetose. Também foi o mais preferido pelos participantes. Para simular o andar, os 8km/h foram considerados como sendo uma velocidade nem muito lenta (poderia gerar algum desinteresse), nem muito rápida (de forma a criar sintomas de cinetose).
- ii. O melhor valor para a aceleração, que simula um veículo, é de 200 cm/s² que permite atingir uma velocidade de 50 km/h** – Na realidade virtual, dever-se-á ir ao encontro das expectativas do utilizador e oferecer-lhes situações que possam causar alguma emoção, de forma a que a experiência seja empolgante e motivadora. Por tal, nem sempre o valor que causa menos desconforto (23 cm/s²) será o melhor. Assim, a partir das conclusões retiradas da Figura 49, em que a escolha dos utilizadores incidiu nos testes onde os valores médios de TS variavam entre 23 e 25, considera-se recomendado usar-se o valor de 200 cm/s², por este se apresentar como o valor ideal para a maioria dos utilizadores.
- iii. O melhor valor para a rotação angular é de 60°/s** – A rotação apresenta-se como o parâmetro que deve ser manipulado com maiores cuidados. Foi na realização destes testes que mais desistências se verificaram, bem como relatos de níveis de cinetose mais elevados. Para se conseguirem melhores resultados, no que respeita à redução dos sintomas de cinetose, aconselha-se o uso de uma área ou plataforma de apoio que sirva de base ao utilizador durante a sua experiência em VR, de forma a que a sua rotação não se concretize somente ao nível do corpo do participante, mas sobre uma base de sustentação maior. O ângulo de rotação de 60°/s foi o que causou menores níveis de cinetose nos participantes, devendo este ser utilizado como ideal.
- iv. Movimentos que utilizem aceleração/desaceleração para iniciar/finalizar o movimento, causam menos cinetose** – Esta recomendação é suportada pela comparação dos três parâmetros estudados. Em média, o parâmetro aceleração obteve valores de cinetose menores que os restantes, sendo que as acelerações mais elevadas foram as escolhidas com mais frequência, pelos utilizadores. Pressupõe-se que a escolha pelas velocidades maiores estará relacionada com o equilíbrio entre o conforto e o desafio/perigo que a atividade pode criar no participante, tornando-a mais motivadora.

- v. Existem diferenças entre os géneros** – Deve-se ter em linha de conta, quando se desenvolve uma aplicação em **VR**, que os participantes do sexo feminino apresentam valores de maior desvio padrão no que respeita aos sintomas de cinetose. Isto traduz-se num número maior de participantes afetados e de desistências quando expostos a variações nos parâmetros de locomoção. Para garantir um maior conforto em aplicações futuras, aconselha-se que se realizem testes com participantes de ambos os sexos, ao longo do desenvolvimento da aplicação, de forma a que se garanta a aproximação de resultados entre ambos. Deve-se fazer uso dos valores já recomendados acima (8km/h no andar, 200 cm/s² na aceleração e 60°/s na rotação), pois estes não provocaram diferenças significativas em ambos os sexos, neste estudo experimental.
- vi. Utilizadores que sentem previamente sintomas de cinetose (noutros ambientes), quando utilizam a realidade virtual apresentam de igual forma ou com maior gravidade esses sintomas** – Os dados recolhidos no presente estudo experimental só permitiram deduzir que, somente a deslocação 1 (velocidade), com o valor de 8km/h, pôde tornar os sintomas menos significativos. Quanto aos restantes tipos de deslocação, continuaram a provocar grandes níveis de cinetose, por parte dos participantes, não havendo garantias ou indicações substanciais para resolução/redução deste problema.
- vii. Não existem diferenças significativas, nos valores de cinetose apresentados, na faixa etária dos 18 aos 30 anos** – No público-alvo desta experiência, não foram encontradas diferenças significativas de sintomas de cinetose que possam fazer distinguir os participantes, tendo em conta a sua idade cronológica.
- viii. Pessoas sem experiência prévia em VR apresentam hipersensibilidade inicial** – Os participantes que referiram nunca ter experienciado ambientes **VR**, apresentaram valores maiores de cinetose nos primeiros momentos de teste. No entanto, esses sintomas foram diminuindo ao longo da experiência, apresentando valores muito semelhantes aos restantes participantes, no final dos testes. Assim, em aplicações futuras, dever-se-á questionar o participante, antes de iniciar a experiência, e caso se verifique ser a primeira vez, ele deverá ser colocado num ambiente mais calmo e os seus movimentos iniciados mais lentamente, possibilitando uma habituação gradual e sucessiva, de forma a não provocar cinetose. No caso daqueles que já tenham tido contactos anteriores com VR, poderão iniciar a experiência em fases mais avançadas da aplicação, em que os vários tipos de deslocação possam ser usados de forma imediata.

Com este estudo, foi possível contribuir de forma significativa na construção e desenvolvimento de futuros jogos, aplicações e/ou experiências em **VR**. Os resultados obtidos ajudam na melhoria do conforto e ultrapassagem dos sintomas indesejáveis, por parte dos utilizadores, de forma a tornar mais acessível a utilização da realidade virtual, nas suas mais diversas áreas de aplicação, tal como proposto inicialmente realizar.

Referências

- [1] T. Parisi, *Learning Virtual Reality*. O'Reilly Media, Inc., 2015.
- [2] K. Hillis, *Digital Sensations*. University of Minnesota Press, 1999.
- [3] P. Fuchs, P. Guitton, and G. Moreau, *Virtual reality: concepts and technologies*. CRC Press, 2011.
- [4] "How did virtual reality begin?," *Virtual Reality Society*. [Online]. Available: <http://www.vrs.org.uk/virtual-reality/beginning.html>. [Accessed: 10-Oct-2016].
- [5] "History Of Virtual Reality," *Virtual Reality Society*. [Online]. Available: <http://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>. [Accessed: 10-Oct-2016].
- [6] "Mozilla VR - WebVR tools," *Uploadvr.com*. [Online]. Available: <https://mozvr.com/>. [Accessed: 02-Jan-2017].
- [7] J. D. Westwood *et al.*, Eds., *Medicine Meets Virtual Reality 20*. IOS Press, 2013.
- [8] B. Laurel, *Computers as Theatres*. Pearson Education (US), 2013.
- [9] B. Laurel, "What is Virtual Reality," *medium.com*, 2015. [Online]. Available: <https://medium.com/@blaurel/what-is-virtual-reality-77b876d829ba#.rolpg17q2>. [Accessed: 10-Oct-2016].
- [10] A. Hunter, "Get started with VR: user experience design," 2016. [Online]. Available: <https://medium.com/vrinflux-dot-com/get-started-with-vr-user-experience-design-974486cf9d18#.2b3mmesci>. [Accessed: 10-Oct-2016].
- [11] "Spec Comparison: Does the Rift's Touch update make it a true Vive competitor?," *Digitaltrends.com*, 2016. [Online]. Available: <http://www.digitaltrends.com/virtual-reality/oculus-rift-vs-htc-vive/>. [Accessed: 19-Nov-2016].
- [12] D. Jagneaux, "HTC Vive vs. Oculus Rift With Touch – Which Is The Better Roomscale Experience?" [Online]. Available: <http://uploadvr.com/vive-vs-oculus-rift-touch-roomscale/>.
- [13] N. Pino, "PlayStation VR review," *techradas.com*, 2017. [Online]. Available: <http://www.techradar.com/reviews/gaming/playstation-vr-1235379/review>. [Accessed: 19-Nov-2016].
- [14] P. Lamkin, "Sony PlayStation VR: Essential guide to the hardware, games, release and more," *wareable.com*, 2016. [Online]. Available: <https://www.wareable.com/project-morpheus/sony-project-morpheus-release-date-price-games>. [Accessed: 20-Jan-2017].
- [15] "Google Cardboard." [Online]. Available: <https://vr.google.com/cardboard/>. [Accessed: 20-Jan-2017].

Referências

- [16] E. Spence, "Google Pixel's Successful Start," *forbes.com*, 2016. [Online]. Available: <http://www.forbes.com/sites/ewanspence/2016/11/29/google-pixel-xl-2016-sales/#424f3cde29bf>. [Accessed: 21-Dec-2016].
- [17] "Huawei's Mate 9 Pro is Daydream-compatible, Future Phones to Include Tango." [Online]. Available: <http://www.roadtovr.com/huaweis-mate-9-pro-daydream-compatible-future-phones-include-tango-support/>. [Accessed: 06-Jan-2017].
- [18] T. Sweeney, "If You Love Something, Set It Free," *UnrealEngine*. [Online]. Available: <https://www.unrealengine.com/blog/ue4-is-free>. [Accessed: 22-Nov-2016].
- [19] "Blueprints Technical Guide," *UnrealEngine*. [Online]. Available: <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Engine/Blueprints/TechnicalGuide/index.html>. [Accessed: 20-Dec-2016].
- [20] "Blueprint vs C++ performance," *UnrealEngine*. [Online]. Available: <https://forums.unrealengine.com/showthread.php?3791-Blueprint-vs-C-performance>. [Accessed: 21-Jan-2017].
- [21] "Unity 5.1," *Unity3D*. [Online]. Available: <https://unity3d.com/pt/unity/whats-new/unity-5.1>. [Accessed: 21-Dec-2016].
- [22] "CryEngine - Features," *Crytek*. [Online]. Available: <https://www.cryengine.com/features>. [Accessed: 19-Jan-2017].
- [23] "CryEngine - VR - Oculus Rift," *Crytek*. [Online]. Available: <http://docs.cryengine.com/display/SDKDOC4/VR+-+Oculus+Rift>. [Accessed: 19-Jan-2017].
- [24] J. Schreier, "Crytek's Video Game Engine Is Now Free," *Kotaku.com*, 2016. [Online]. Available: <http://kotaku.com/cryteks-video-game-engine-is-now-free-1765078659>. [Accessed: 19-Jan-2017].
- [25] J. Schreier, "Sources: Amazon Spent Big Bucks On Crytek's Engine," *Kotaku.com*. [Online]. Available: <http://kotaku.com/sources-amazon-spent-big-bucks-on-cryteks-engine-1696008878>. [Accessed: 19-Jan-2017].
- [26] A. Neltz, "Amazon Releases Its Own Game Engine For Free," *Kotaku.com*, 2016. [Online]. Available: <http://kotaku.com/amazon-releases-its-own-game-engine-for-free-1757995787>. [Accessed: 19-Jan-2017].
- [27] M. Nabioyuni and D. A. Bowman, "An Evaluation of the Effects of Hyper-natural Components of Interaction Fidelity on Locomotion Performance in Virtual Reality," *Proc. 25th Int. Conf. Artif. Real. Telexistence 20th Eurographics Symp. Virtual Environ.*, pp. 167–174, 2015.
- [28] D. P. Pinheiro, "Cinetose – Enjoo de movimento," *mdsaude.com*, 2016. [Online]. Available: <http://www.mdsaude.com/2010/10/cinetose-enjoo-movimento.html>. [Accessed: 03-Jan-2017].

- [29] E. M. Kolasinski, "Simulator Sickness in Virtual Environments," *United States Army Research Institute fo the Behavioral and Social Sciences*, vol. 1027, no. 4. U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, p. 68, 1995.
- [30] "Introduction to Best Practices," *Oculus V.R.* [Online]. Available: https://developer3.oculus.com/documentation/intro-vr/latest/concepts/bp_intro/. [Accessed: 12-Dec-2017].
- [31] J. M. Drexler, "Identification of system design features that affect sickness in virtual environments," *ProQuest Diss. Theses*, p. n/a, 2006.
- [32] S. Watts, "How We Achieved <1% VR Motion Sickness," *medium.com*. [Online]. Available: https://medium.com/@vr_sam/how-we-achieved-1-vr-motion-sickness-9e0d555ee779#.vgn1cqun9. [Accessed: 20-Oct-2016].
- [33] W. Mason, "Five ways to reduce motion sickness in VR," *Uploadvr.com*. [Online]. Available: <http://uploadvr.com/five-ways-to-reduce-motion-sickness-in-vr/>. [Accessed: 20-Oct-2016].
- [34] R. S. Kennedy, J. M. Drexler, D. E. Compton, K. M. Stanney, D. S. Lanham, and D. L. Harm, "Configural scoring of simulator sickness, cybersickness and space adaption syndrome, similarities and difference," *Virtual Adapt. Environ. Appl. Implic. Hum. Perform. Issues*, p. 247, 2003.
- [35] C. E. Lathan, M. R. Tracey, M. M. Sebrechts, D. M. Clawson, and G. A. Higgins, "Using virtual environments as training simulators: Measuring transfer," *Handb. virtual Environ. Des. implementation, Appl.*, pp. 403–414, 2002.
- [36] K. M. Stanney, D. S. Lanham, R. S. Kennedy, and R. Breaux, "Virtual environment exposure drop-out thresholds," *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. 43rd Annu. Meet.*, pp. 1223–1227, 1999.
- [37] R. Pausch, T. Crea, and M. Conway, "A Literature Survey for Virtual Environments: Military Flight Simulator Visual Systems and Simulator Sickness," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 1, no. 3, pp. 344–363, Jan. 1992.
- [38] K. S. Kingdon, K. M. Stanney, and R. S. Kennedy, "Extreme Responses to Virtual Environment Exposure," *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.*, vol. 45, no. 27, pp. 1906–1910, Oct. 2001.
- [39] J. T. Reason and J. J. Brand, *Motion sickness*. New York: Academic Press Inc, 1975.
- [40] B. Patrão, S. Pedro, and P. Menezes, "How to Deal with Motion Sickness in Virtual Reality," 2015.
- [41] B. D. Lawson, D. A. Graeber, A. M. Mead, and E. R. Muth, "Signs and symptoms of human syndromes associated with synthetic experiences," *Handb. virtual Environ. Des. implementation, Appl.*, pp. 589–618, 2002.

Referências

- [42] R. S. Kennedy, M. B. Jones, K. M. Stanney, A. Ritter, and J. M. Drexler, "Human factors safety testing for virtual environment mission-operations training," Houston, 1996.
- [43] R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum, and M. G. Lilienthal, "Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness." *The international Journal of aviation psychology*, 1993.
- [44] M. Slater, M. Usoh, and A. Steed, "Taking steps: the influence of a walking technique on presence in virtual reality," *ACM Trans. Comput. Interact.*, vol. 2, no. 3, pp. 201–219, 1995.
- [45] XinReality, "Locomotion." [Online]. Available: <http://xinreality.com/wiki/Locomotion>. [Accessed: 10-Oct-2016].
- [46] "ArmSwinger VR Locomotion System." [Online]. Available: <https://github.com/ElectricNightOwl/ArmSwinger#what-is-this>. [Accessed: 21-Dec-2016].
- [47] J. Holmér, "The Design of the Portal Locomotion," *medium.com*, 2016. [Online]. Available: <https://medium.com/neat-corp/the-design-of-the-portal-locomotion-2677f3b3f9b5#.de0man3to>. [Accessed: 10-Oct-2016].
- [48] A. Colgan, "5 Experiments on the Bleeding Edge of VR Locomotion," *leapmotion.com*. [Online]. Available: <http://blog.leapmotion.com/5-experiments-bleeding-edge-vr-locomotion/>. [Accessed: 20-Jan-2017].
- [49] "Tunneling - Experimental VR Locomotion Technique." [Online]. Available: <http://www.mtbs3d.com/phpbb/viewtopic.php?f=138&t=21585>.
- [50] I. Hamilton, "Ubisoft's VR Movement System Looks Incredible," *Uploadvr.com*. [Online]. Available: <http://uploadvr.com/eagle-flights-solution-to-vr-movement-looks-incredible/>. [Accessed: 12-Dec-2016].
- [51] N. Carey, "Establishing Pedestrian Walking Speeds," Portalnd State Univerity, 2005.

Anexo A.

1º Artigo: Creating a basic VR demo using Unreal

No início da presente dissertação e aprendizagem na utilização da ferramenta Unreal Engine, havia falta de informação sobre o desenvolvimento em **VR**, existente até aquele momento. Porém, este artigo "Creating a basic VR demo using Unreal" descreve o processo de como desenvolver experiências em **VR**, para iniciantes.

Foi publicado na plataforma medium.com e conta com mais de 5500 visualizações até ao momento.

Pode ser acedido através do link: <https://virtualrealitypop.com/start-a-vr-demo-using-the-unreal-engine-63d31eeaf784>



Tiago Andrade [Follow](#)

Software Engineer. Attending a Master's Degree at University of Coimbra. Working with VR.

Nov 2, 2016 · 7 min read

Creating a basic VR demo using Unreal



With virtual reality (**VR**) going mainstream, through products like the HTC Vive and Oculus Rift, many game developers have become interested in creating new content for these devices. To develop **VR** content there are two game engines that stand out: Unreal Engine and Unity3D.

For the purpose of this article, I will develop a small **VR** demonstration (**demo**) using Unreal Engine. The goal is to implement a level, where the player can move freely and interact with objects by grabbing them or destroying them.

What is the Unreal Engine?

The Unreal Engine is a game engine created by Epic Games in 1998. It was first used to create the Unreal game and since then has been successfully used in a variety of other huge games (including Unreal Tournament, Bioshock, Mortal Kombat X, among others). This game engine provides two toolsets for programmers: the traditional C++ and a visual scripting system known as *Blueprints* that allows for rapid development of the game logic.

VR support was added in the 4th version, launched in 2012. The first supported device was Oculus Rift DK1. Currently, all major VR devices are supported.

Before March 2015, to develop games with this engine, it was necessary to buy a licence, but it subsequently became free of charge. The only condition is that all the profits generated from a game developed with Unreal, above \$3,000 must pay a 5% royalty. [1]

Alternative

One alternative for creating **VR** games is Unity3D. Unity3D is a newer game engine and its primary focus is on mobile games thus presenting a very strong 2D component. Furthermore, given its popularity and versatility, the engine expanded to the desktop and **VR** content.

To create games in unity3D we can use C#, JavaScript or Boo. This game engine is also free to use as with Unreal.

For the purpose of this article, I chose to develop in Unreal Engine because the goal is to create a desktop game and make use of the most advance **VR** devices of the market. Also, Unreal Engine helps to create prototypes very quickly.

Why develop for VR?

In the past years, VR technology has evolved to approach new levels of immersion and life-like experiences. In this way, consumers have more reasons to get excited about playing in **VR**, as opposed to 3D and 2D. Therefore, there is an opportunity to create exciting **VR** content, and for that to happen the developers have to step up and create it.

From a development point of view, it has new challenges to overcome in the way players interact and experiment with different elements of the game. The mentioned challenges include narrative construction, audio setting, locomotion in game, and many more.

Assuming that future games will be **VR** ready, we currently have a chance to change the gaming world and entertainment as we know them today.

Headset choice

To identify the chosen hardware for our **demo**, I will state the reasons that led me to choose the HTC vive:

- We want to develop it for desktop. (Automatically excludes the mobile devices like Samsung GearVR, Google Daydream, ...)
- HTC vive allows roomscale (Oculus Rift will soon have this feature)
- HTC vive already has two motion controllers (Oculus Rift touch must be bought separately)

Our goal is to make use of the motion controllers to interact with the objects, so the obvious choice is the HTC vive.

VR setup

Having a high-end desktop and HTC vive, everything can be set up and ready to use.

For that we need to:

1. Make sure everything is connected in the right place. The full guide can be seen here [2].
2. Install Steam and SteamVR.
3. Make sure the firmware on all controllers and headset is updated.
4. Run the “Room setup” and “Tutorial” to set up your roomscale and see if everything is working correctly.
5. Download and install Unreal Engine [3] (Version: 4.13.2).

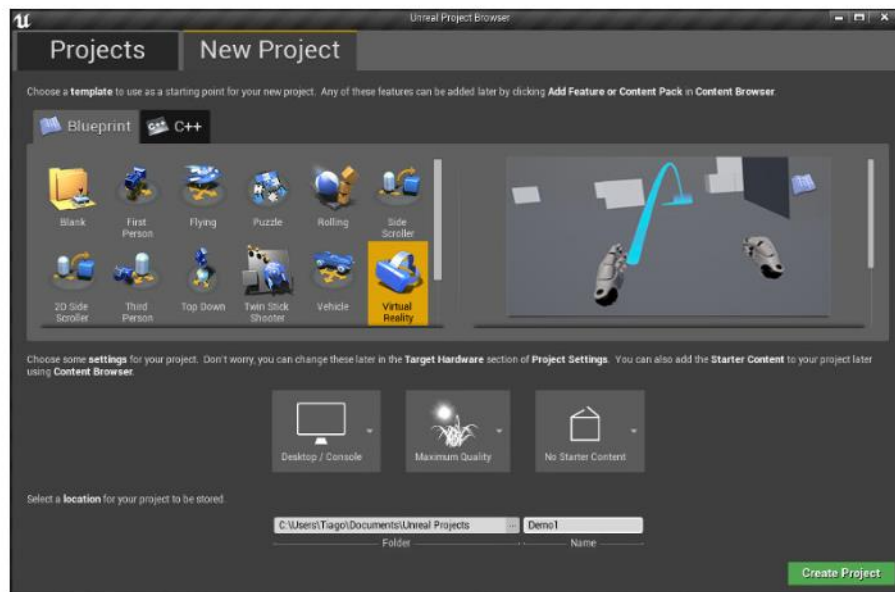
Now we are ready to start our **demo**.

Demo implementation

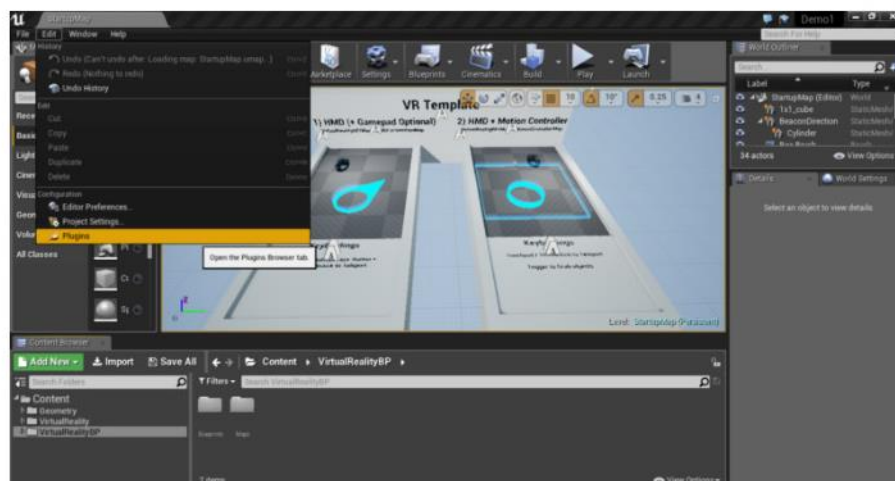
Before starting the development of our **demo**, is important to have some previous background knowledge about working with Blueprints.

The following section shows the step-by-step process of how to create a new project, set up a level and create some simple game logic so we can point to an object and by pulling the trigger, destroy it.

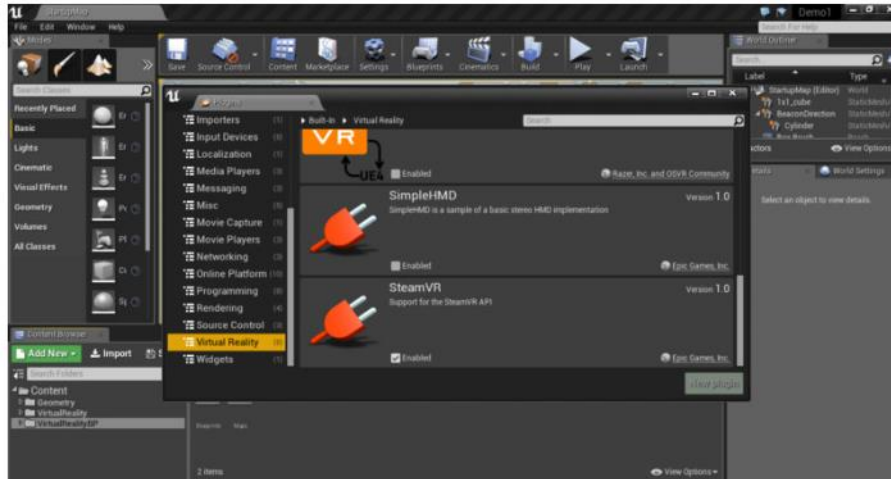
The process starts by opening the Unreal Engine and going to the New project tab. In the Blueprint section select Virtual Reality. In the project setup choose Desktop/console, Maximum Quality and No starter content, and in Location insert the path you want for the project.



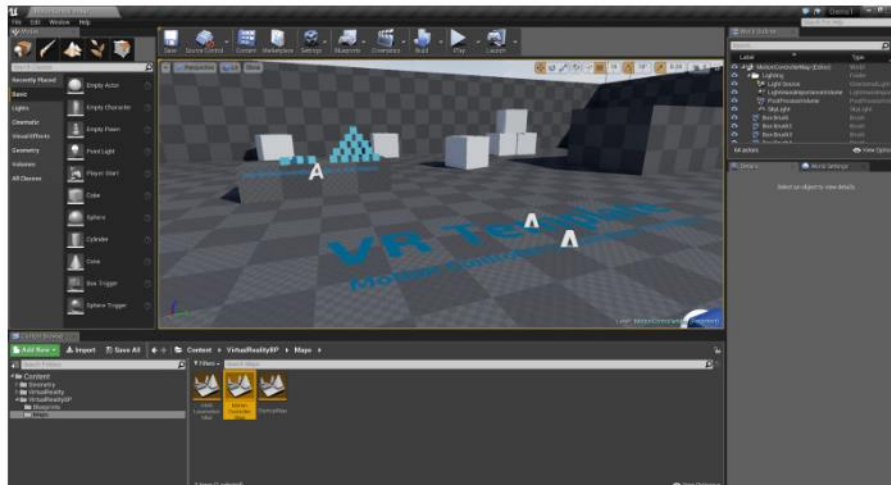
Go to plugins menu and in Virtual Reality confirm that plugin "SteamVR" is enabled.



Anexo A – 1º Artigo

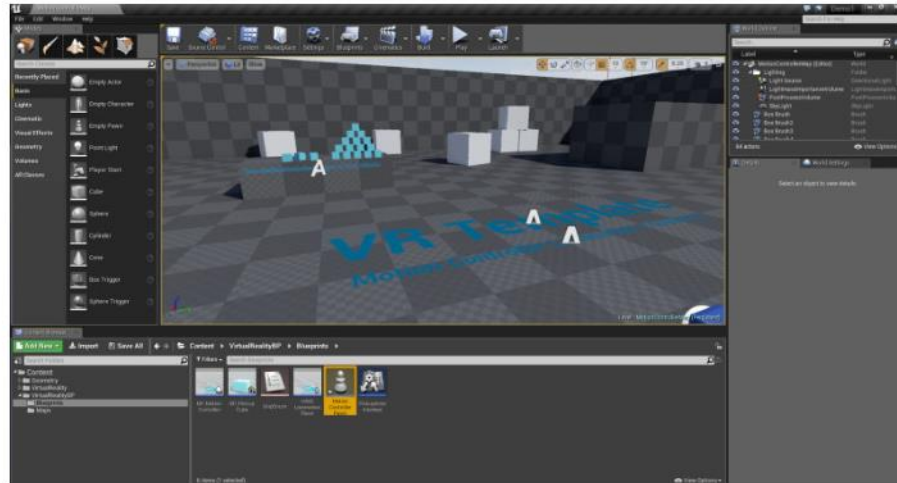


On the content browser, go to the folder VirtualRealityBP/maps and open “MotionControllerMap”.

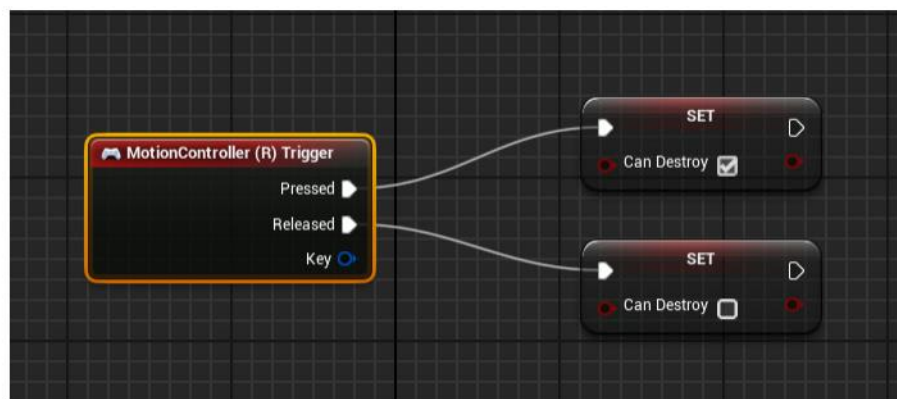


This will open a pre-build level that we can use. This level already has many actions ready to use like: grab objects and teleportation for the player to move in the level. We can try it out to see if everything is working correctly. Now to make things more interesting let's implement logic for destroying an object when we point and pull the trigger.

In order to do that, open the Blueprint “MotionControllerPawn” in VirtualRealityBP/Blueprints.



Call a “MotionController (R) Trigger” event for the right hand and set a boolean that changes between true or false when we press or release the trigger.

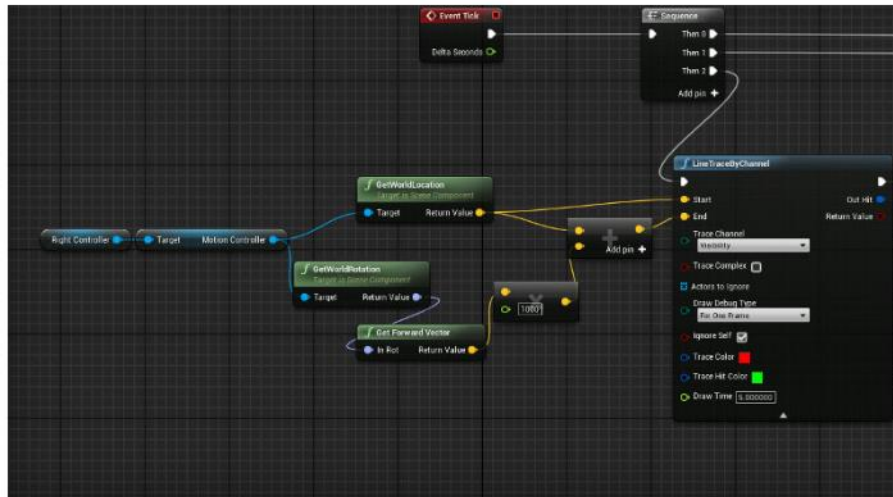


On the Tick event, we are going to create a linetrace for us to know what kind of object we are pointing at. To do that we need the starting and ending point. To obtain the starting point, use the “Right Controller” reference, get the “Motion Controller” and get world location.

Anexo A – 1º Artigo

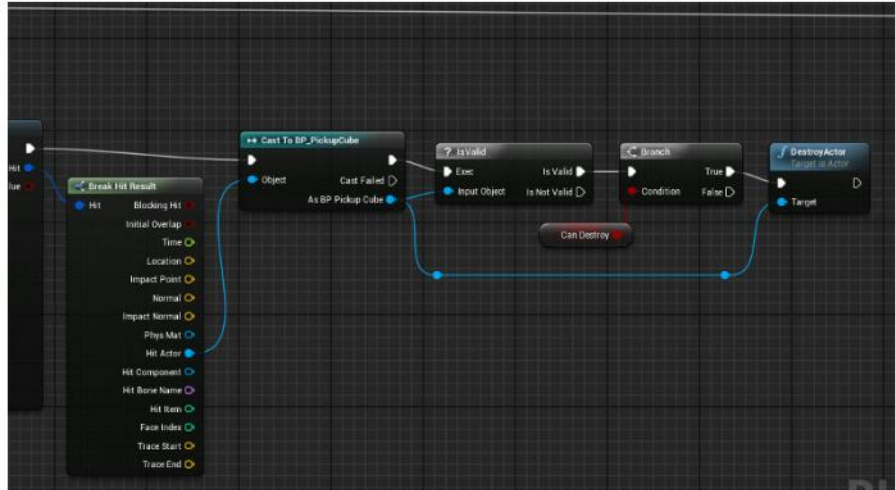
Still from “Motion Controller” let’s get the forward vector. This will give us the directions where the controller points to. Multiply this vector with the distance we want (let’s say 1000 = 10 meters) and add to the initial location, obtaining the end point.

Add the module “LineTraceByChannel”, connect the start and end points and select “One Frame” in “Draw Debug Type” tab. This parameter will draw a line that we can see between the starting and ending point.



The next step is to break the “Out Hit” output and do a cast for the “Hit Actor” to “BP_PickupCube”. This will guaranty that we can only select the blue cubes in the level.

To finish let’s put a branch and see if the boolean “Can Destroy” (created earlier) is true or false. In case it is false we don’t do anything. In case it’s true, call the module “DestroyActor” to destroy the actor that we have selected.



And we are done. We can try it by going to the Play button on the top and select VRpreview.

Final thoughts

As you can see, creating games for VR devices isn't difficult. The engine offers pre-made content that makes it much easier for those who are taking the first steps in this area. Furthermore, Unreal allows us to abstract from the hardware (for example, we don't need to think about how to do the tracking of the devices or how to render the image to the headset) allowing us only to focus on the content of the experience.

In my experience, the use of the Blueprints is a great resource that provides the possibility to create game mechanics in just a few clicks. This **demo** serves as a basis to easily understand how VR development works in Unreal and from this you can evolve the complexity and create your own VR game.

Now is up to us to create the future of VR

References



[1] <https://www.unrealengine.com/blog/ue4-is-free>


[2] https://support.steampowered.com/kb_article.php?ref=2001-UXCM-4439


[3] <https://www.unrealengine.com/>

[Image 1] <http://www.htc.com/us/go/press-image-gallery/>

Virtual Reality Unreal Engine Unity Htc Vive Tutorial

♥ 12 💬 1  

 **Tiago Andrade**
Software Engineer.
Attending a Master's Degree at University of Coimbra. Working with VR. [Follow](#)

 **Virtual Reality Pop**
Virtual Reality, Augmented Reality, Oculus Rift, HTC Vive, Gear VR, Steam, PSVR, Daydream, 360 Video and more. [Follow](#)

Anexo B.

2º Artigo: VR games & apps—Where to sell?

No início da presente dissertação e aprendizagem na utilização da ferramenta Unreal Engine, havia falta de informação sobre o desenvolvimento em **VR**, existente até aquele momento. Porém, este artigo “VR games & apps – Where to sell” identifica as plataformas e lojas online disponíveis para a distribuição de conteúdos **VR**.

Foi publicado na plataforma medium.com e conta com mais de 1000 visualizações até ao momento.

Pode ser acedido através do link: <https://virtualrealitypop.com/vr-games-apps-where-to-sell-2127697bb70c>



Tiago Andrade [Follow](#)

Software Engineer. Attending a Master's Degree at University of Coimbra. Working with VR.
Dec 21, 2016 · 7 min read

VR games & apps—Where to sell?



When we start developing VR content, as I explained on my previous article[1], it's very important to keep in mind who will be your target audience and what kind of distribution channels you choose.

Nowadays, there are many online solutions that facilitate the distribution process. Many of them already have a wide range of customers, which helps reaching a greater audience for a new product launch. Game stores like Steam are well established in the market and have a large number of customers who use the platform on a daily basis.

In the virtual reality universe, an important factor to consider by the developers is the choice of the distribution channel to use. Therefore, it is necessary to know:

- Which device(s) are you developing the content for;
- How many users the store already has and how many could be interested in our game;
- How many devices are supported by the store;
- How the submission of your work is processed.

This article aims to showcase and analyse the main existing online stores. It also helps to highlight aspects to be considered in order to sell a game such as what costs are associated with distribution and what range of target audience the game can achieve in each platform.

Existing stores for each device type

For each store there are different supported devices:

- Steam—HTC Vive, Oculus Rift, others
- Oculus Home—Oculus Rift, Oculus Gear
- Itch.io—HTC Vive, Oculus Rift
- Google Playstore—Cardboard, Daydream headset

Now, let's analyse each one.

Steam



<http://store.steampowered.com/>

Steam is the most well-known online platform for PC game distribution. It was created by Valve and emerged in 2003 as a legal alternative for piracy, providing quick game updates and friendly prices. The strength of Steam is the large number of users who use the platform to shop and play online. Steam usually has a daily average of 13.222.687 online users connected simultaneously [2].

This platform is available in 254 countries and contains about 11.829 games in its database [3].

The first VR games that were launched were made for the HTC Vive (virtual reality device created by Valve and HTC). These days, the store supports any existing device in the market whether it is HTC Vive, Oculus Rift or other VR headset for desktop.

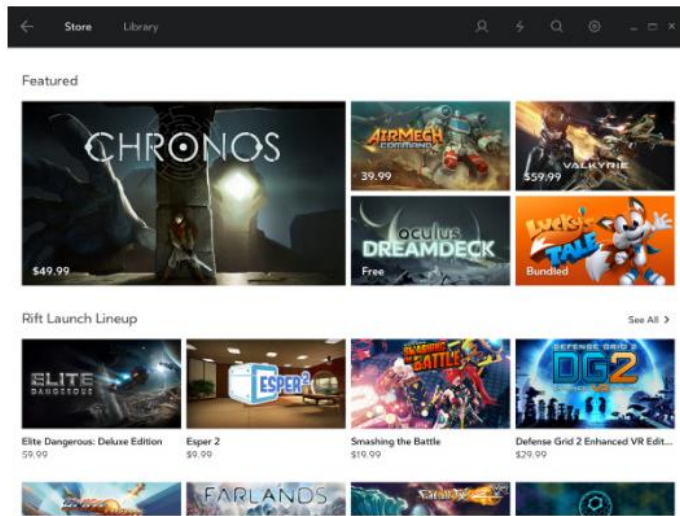
In order to start selling on Steam, there's an admission process called Greenlight.

Greenlight is a system that uses steam's community (customers) to filter which games are worthy of being accepted in the store. In order for this to happen, it is necessary to make a "campaign" for the game, capturing the interest of the community and maintaining a permanent contact with them[4].

There is a one-time fee of 90€ to grant access to Greenlight, which will be given to charity (Childs Play)[5]. Once approved by the community, the Valve team gets in touch with the developers and allows them access to the store. It is important to note that the Valve team also helps establish a release date, as well as a selling price for the game.

Lastly, for every sale you make, Steam gets 30% in royalties.

Oculus Home



<https://www.oculus.com/press-kit/software/>

Oculus Home is a store exclusively dedicated to VR content for Oculus Rift and Gear VR.

Knowing that Oculus V.R. so far has not revealed the data on how many users use the platform, nor how many units of the CV1 Rift were sold, it is difficult to quantify the store's success.

I will estimate, by approximation, the number of users who can use this store. To infer this estimation, I will use the data provided by Steam Survey and SteamSpy. I will use Job Simulator to find a base number of VR users in general, because it is the VR game with the largest number of players and it's sold on Steam:

- We know that Job Simulator has $117,840 \pm 9,146$ players [6];
- Using the data that Steam provides about its customers' hardware, we know that 30% of users use VR devices and 10% are Oculus Rift users [7];
- By making the number of Job Simulator players as our base number then we can estimate that there are $\pm 39,241$ users with Oculus Rift. [8]

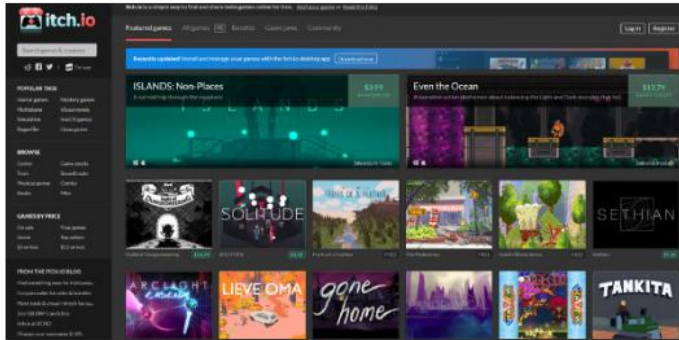
The number obtained is a mere estimation, but it is one way to predict how many users have the devices supported by this store and can actually use it.

With this estimate we can affirm that this store has about 66% less users than Steam. This is one of the downsides of only allowing their own headsets (Rift and Gear) and not care for HTC Vive or Cardboard users.

To access the store, it is necessary to create an account and initially pay 25€ fee [12]. Once the fee is paid, apps can be submitted freely and, after a short time, they are available in the store.

Google also collects 30% in royalties for each purchase made. [13]

itch.io



<https://itch.io/>

The itch.io offers an online store for indie developers and they can submit their content freely.

To access the store, simply create an account without any initial fees. The method of selling the games is *pay what you want above the minimum*. In other words, the customer can

buy the game for a minimum price set by the developer or give a higher value, in order to help and encourage developers to continue the work.

The platform collects 0.30€ + 2.9% for each transaction, but lets the developer choose between two options: with each purchase, get the money right away or choose a later date to receive the accumulated earnings, until then [14].

Conclusion

In my opinion, the store that offers the best conditions is Steam. Despite the costs of entry and royalties, its large VR audience (both HTC vive and Oculus Rift owners) will eventually compensate for the entrance fees in that store. Furthermore, when we gain access to the store, the campaign was already approved by users who were willing to support the game. This factor makes it easier to get the first sales.

On the mobile side the best choice is undoubtedly the Google Playstore. It supports all mobile headsets and the Daydream platform promises to deliver better VR experiences. Through this store we can reach thousands of users in an instant, but you have to efficiently promote your app/game.

References

- 1— <https://virtualrealitypop.com/start-a-vr-demo-using-the-unreal-engine-63d31eeaf784>
- 2— <http://store.steampowered.com/stats/?l=portuguese> (Seen on 22/11/2016)
- 3— <http://steamspy.com/#tab-graphs> (Seen on 22/11/2016)
- 4— <http://steamcommunity.com/workshop/about/?appid=765§ion=faq>
- 5— <http://store.steampowered.com/app/219820/?l=english>
- 6— <https://steamspy.com/app/448280> (Seen on 22/11/2016)
- 7— <http://store.steampowered.com/hwsurvey> (Seen on 22/11/2016)
- 8— <http://www.roadtovr.com/htc-vive-sales-figures-data-100000-steamspy-data/>
- 9— <https://developer3.oculus.com/documentation/publish/latest/>
- 10— <http://www.androidcentral.com/google-says-there-are-now-14-billion-active-android-devices-worldwide>
- 11— <http://www.forbes.com/sites/ewanspence/2016/11/29/google-pixel-xl-2016-sales/#607a2f7f29bf>
- 12— <https://developer.android.com/distribute/googleplay/start.html>
- 13— <https://support.google.com/googleplay/android-developer/answer/112622?hl=en>
- 14— <https://itch.io/docs/creators/payments>

image

First Image:

- Turquoise Technology Background designed by Freepik
- 3 icons created by Nikita Kozin from The Noun Project
- 1 icon created by Vandana agrawal from The Noun Project
- 1 icon created by Till Teenck from The Noun Project
- 1 icon created by Consuelo Elo Graziola from The Noun Project
- 1 icon created by Sinistrad from The Noun Project
- Designed by Andreia Antunes.

SHARE



6



Virtual Reality

Steam

Oculus Rift

Htc Vive

Google Daydream



Tiago Andrade

Software Engineer.
Attending a Master's
Degree at University of
Coimbra. Working with VR.

Follow



Virtual Reality Pop

Virtual Reality, Augmented
Reality, Oculus Rift, HTC
Vive, Gear VR, Steam, PSVR,
Daydream, 360 Video and
more.

Follow

Anexo C.

Guia experimental

Guia Experimental

O presente documento serve para descrever e guiar o processo experimental, de forma a uniformizar procedimentos, em caso de repetição desta experiência, tendo em conta questões logísticas e equipamento, e procedimentos de realização.

Enquadramento

Esta experiência faz parte de um dos objetivos da dissertação/estágio de Tiago Martins Andrade, integrado no plano de estudos do Mestrado em Engenharia Informática, no ramo de Engenharia de Software, que decorre no ano de 2016/17, sob a orientação do Professor Mário Alberto da Costa Zenha-Rela, cujo tema é a "Locomoção em Realidade Virtual".

Com o presente estudo pretende-se saber quais os valores ideais para os parâmetros de velocidade, aceleração e rotação (em cada protótipo de locomoção, desenvolvidos especificamente para a presente tese), de forma a que produzam menos desconforto ao utilizador (Simulation Sickness), com o objetivo final de poderem ser utilizados como requisitos ou considerandos no desenvolvimento de cenários em realidade virtual.

Logística e equipamento

Para a concretização do presente estudo, é necessária uma sala com dimensões mínimas de 3x3 metros, sem qualquer objeto ou mobília (de forma a definir a área jogável). Preferencialmente num local fechado, para que não haja qualquer interferência externa à experiência, de forma a facilitando o processo da experiência, bem como, a privacidade do(s) participante(s) na realização da mesma.

No que respeita ao equipamento é necessário:

- 1x computador fixo
- 1x ecrã/monitor
- 1x kit HTC Vive.
- 2x extensões elétricas
- 2x escoras extensíveis ou outra forma de segurar as *Base Stations* a uma altura mínima de 2 metros
- 1x auscultadores

Anexo C – Guia experimental

O computador fixo deverá ter as seguintes características:

- Placa mãe: MSI 970 Gaming
- Processador: AMD Fx 8350 - 4.0 GHz
- Placa gráfica: AMD Radeon RX 480 – 8 GB

É ainda necessário ter imprimido o acordo de não divulgação (NDA) (Anexo E) e o consentimento informado (Anexo D) para que todos os participantes possam tomar conhecimento e aceitar as condições do estudo, assinando os respetivos documentos.

Configuração do equipamento

O computador deverá estar ligado à corrente, tendo previamente instalado o seguinte software:

- Steam e SteamVR
- Microsoft Visual C++ 2015 Redistributable
- Executável da simulação

Para a configuração do HTC Vive será necessário seguir os seguintes passos:

1. Colocar as *Base Stations* a uma altura mínima de 2 metros, com uma distância mínima de 2.5 metros entre as duas
2. Ligar ambas as *Base Stations* à corrente
3. Verificar se os *Motion Controllers* contêm bateria
4. Ligar o headset ao computador fixo
5. Abrir os aplicativos Steam e SteamVR
6. Clicar em "Run Room Setup"
7. Seguir todos os passos e garantir que o Roomscale (área jogável) fica com uma área de 2x2 metros.
8. Conectar os headphones ao headset

Cumpridos os procedimentos, poder-se-á iniciar a simulação.

Processo do observador

O observador (pessoa a controlar a experiência) deverá:

1. Entregar ao participante, para ler e assinar, a documentação relativa ao consentimento informado, bem como ao NDA, e esclarecer qualquer dúvida que o participante possa apresentar;
2. Explicar o contexto da experiência, indicando ao participante quais as tarefas a realizar, bem como demonstrar a utilização correta do equipamento, demonstrar qual a norma de segurança caso sinta necessidade de parar com a experiência;
3. Ajudar o participante a colocar o *headset* e os auscultadores, bem como, os *Motion Controllers*;
4. Verificar se o participante se encontra confortável e se a posição focal do *headset* se encontra bem ajustada (de forma a que o participante consiga visualizar o ambiente virtual na sua totalidade);
5. Iniciar o executável da simulação;
6. No decorrer da simulação, apoiar o participante, certificando-se de que este não fica enrolado nos cabos do HTC Vive;
7. Prestar informações adicionais, que ajudem o participante a ultrapassar dificuldades, em caso de necessidade;
8. No termo da simulação, deve ajudar o participante a retirar todo o material de forma adequada;

Processo da experiência

A simulação começa com um questionário de informação pessoal (idade, género, ...) ao qual o participante tem de responder, utilizando o equipamento.

De seguida inicia-se a experiência constituída por dez testes. Estes estão agrupados de acordo com cada um dos três protótipos construídos, sendo que, em cada um se avaliam diferentes valores no que se refere aos parâmetros: velocidade, aceleração e rotação. Assim, o protótipo 1 com três testes avalia o parâmetro velocidade; O protótipo 2 com quatro testes avalia o parâmetro aceleração e o protótipo 3 com três testes avalia o parâmetro rotação.

No final de cada teste, é apresentado ao participante um questionário relativo ao Simulation Sickness, ao qual terá que responder.

O conjunto dos 10 testes e a resposta aos questionários (duração média de um minuto) terão a duração média de vinte minutos por participante (figura 2).

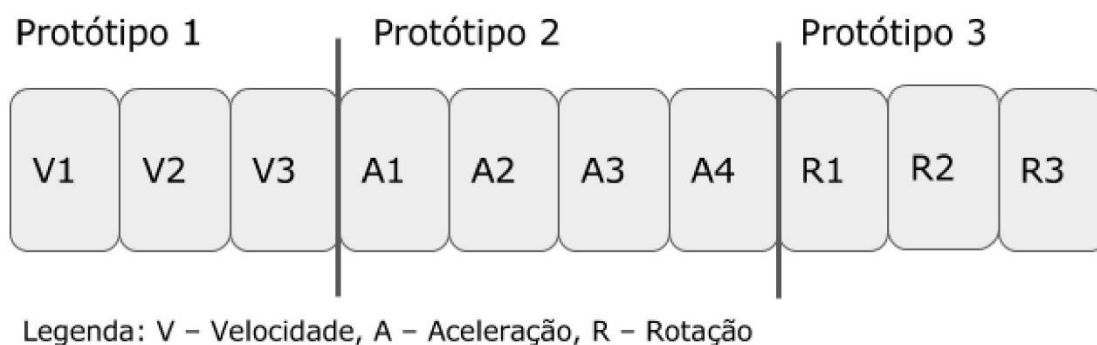


Figure 1 - Timeline da experiência

Cenário

O cenário virtual da experiência é constituído por um percurso num ambiente de deserto (como ilustrado na imagem 2), que os participantes terão que percorrer. Em todos os testes o design do percurso será sempre o mesmo. No entanto, a distância do ponto de partida ao ponto de chegada, varia consoante a velocidade a que cada protótipo se desloca em cada teste, de forma a que todos os testes tenham uma duração idêntica entre eles (de um minuto em média).

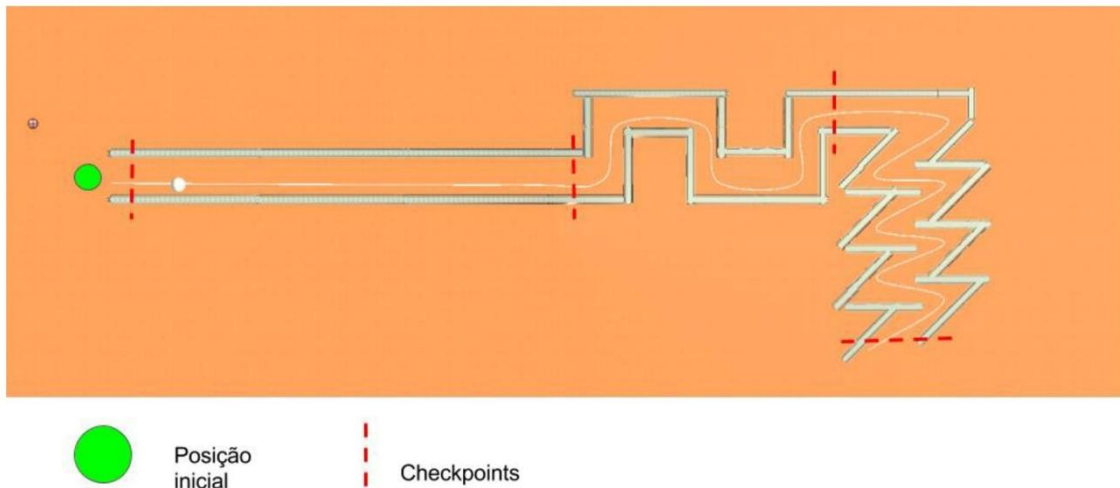


Figure 2 – Percurso que os participantes terão de percorrer

O percurso está dividido em três secções (de forma a causar ou simular alterações de equilíbrio – “simulation sickness”), obrigando o participante a rodar ou usar os mecanismos de rotação em cada teste:

- Primeira secção: linha reta
- Segunda secção: Curvas de 90 graus
- Terceira secção: Curvas de 135 graus

Ao longo do percurso existem checkpoints onde será registado o tempo que o participante leva a percorrer cada secção, podendo assim obter-se tempos parciais e totais por teste.

Para que o participante possa ter a sensação de movimento, o ambiente envolvente do percurso contém alguns apontamentos, tais como edifícios, paredes e estruturas em ruínas.

Protótipo 1

O primeiro protótipo pretende simular a deslocação a pé do participante, através do percurso, possibilitando percorrer pequenas distâncias, no mundo virtual.

Para tal, este não terá aceleração e a rotação é dada pelo movimento físico do corpo do jogador (numa escala de 1:1), sendo a velocidade o único parâmetro a ser estudado.

Este protótipo realiza três testes, sendo que, em cada um deles, a velocidade aplicada é diferente. A saber:

1. **V1** = 111.1 cm/s = 4 km/h
2. **V2** = 222.2 cm/s = 8 km/h
3. **V3** = 333.3 cm/s = 12 km/h

Protótipo 2

O segundo protótipo é constituído por um simulador de veículo que o participante conduz, e que atinge a velocidade máxima de 50 km/h, sendo a aceleração o parâmetro a ser analisado/estudado.

Este protótipo realiza quatro testes, em que se altera, em cada um, a aceleração da seguinte forma:

1. $V=1389$ cm/s, $T=60.39$ s, $\mathbf{A1}=23$ cm/s²
2. $V=1389$ cm/s, $T=14.93$ s, $\mathbf{A2}=93$ cm/s²
3. $V=1389$ cm/s, $T=6.945$ s, $\mathbf{A3}=200$ cm/s²
4. $V=1389$ cm/s, $T=1.98$ s, $\mathbf{A3}=700$ cm/s²

Protótipo 3

O último protótipo é constituído por uma criatura fictícia, em forma de Sandworm (minhoca da areia) que simula ao participante a sua deslocação sobre um animal (dando-lhe a ilusão de o conduzir).

Este protótipo realiza três testes, em que a velocidade de deslocação é constante, sendo diferentes os valores da rotação angular, em cada teste. A saber:

1. $\mathbf{R1} = \pi/3$ rad/s = 60 graus/s
2. $\mathbf{R2} = \pi/2$ rad/s = 90 graus/s
3. $\mathbf{R3} = 2\pi/3$ rad/s = 120 graus/s

Recolha de dados

O documento do consentimento informado bem como o NDA é entregue ao participante em formato de papel (anexo E e D respetivamente).

Os restantes questionários e a recolha dos tempos de percurso são registados pela própria simulação. Todos os dados são guardados num ficheiro CSV com o seguinte formato (Anexo F).

As figuras 3, 4 e 5 demonstram os vários questionários, que são apresentados ao participante no decorrer da simulação. O primeiro recolhe as informações pessoais de cada participante, tais como: idade, género, se já alguma vez experimentou VR, se costuma jogar diariamente e se costuma ter cinetose quando joga. Os dados recolhidos nesta fase permitem caracterizar os participantes, bem como realizar cruzamento de dados/resultados após a análise das informações recolhidas no Simulation Sickness Questionnaire (SSQ).

Age: 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

Gender : M F

Do you play in a daily basis? 0 1 2 3

Do you usually feel Motion Sickness while playing? No Yes

Did you already tried VR? No Yes

Figure 3 – Primeiro questionário

O segundo questionário é o Simulation Sickness Questionnaire (SSQ), onde são apresentadas 16 questões ao participante, sobre como se sentiu no fim de cada teste.

SIMULATOR SICKNESS QUESTIONNAIRE

Select how much each symptom below is affecting you right now

1. General discomfort	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe	9. Difficulty concentrating	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe
2. Fatigue	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe	10. Fullness of the Head	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe
3. Headache	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe	11. Blurred vision	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe
4. Eye strain	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe	12. Dizziness with eyes open	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe
5. Difficulty focusing	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe	13. Dizziness with eyes closed	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe
6. Salivation increasing	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe	14. Vertigo	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe
7. Sweating	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe	15. Stomach awareness	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe
8. Nausea	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe	16. Burping	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> Slight	<input type="radio"/> Moderate	<input type="radio"/> Severe

Figure 4 – Segundo questionário

Por fim, a cada participante, é apresentado um questionário de preferências no final de cada grupo de testes que compõe cada protótipo.

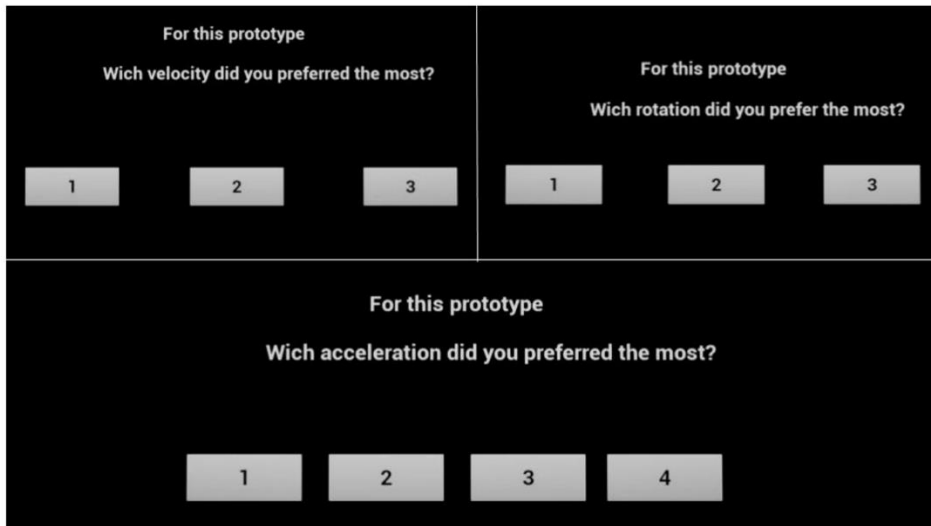


Figure 5 – Os questionários no fim de cada cenário

Tarefa

Para que a experiência tenha sucesso é necessário que o participante complete o percurso em todos os testes e que responda a todos os itens do SSQ, sem o qual não pode avançar para o teste seguinte.

Medida de segurança

Caso o participante se sinta indisposto ou não pretenda continuar com a experiência, poderá/deverá terminar a simulação de imediato, através de uma tecla do comando (Figura 6).

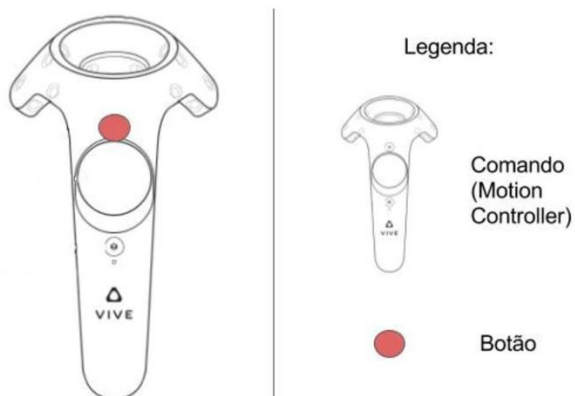


Figure 6 – Esquema do comando e identificação do botão que tem de ser pressionado

Uma vez a tecla pressionada, a simulação termina e guarda os únicos resultados que tem desse participante no CSV, deixando o resto em branco.

Anexo D. Consentimento informado

ID Numer: _____

CONSENTIMENTO INFORMADO, ESCLARECIDO E LIVRE PARA PARTICIPAÇÃO EM ESTUDOS DE INVESTIGAÇÃO

NOS TERMOS DA NORMA N.º 015/2013 da Direcção-Geral da Saúde
(de acordo com a Declaração de Helsínquia e a Convenção de Oviedo)

Título: Estudo de Simulation Sickness com vários parâmetros de velocidade, aceleração e rotação em protótipos de locomoção para um jogo de realidade virtual.

Instituição: Mimicry Games e Universidade de Coimbra.

Introdução: É convidado(a) a fazer parte de um estudo de investigação. Foi selecionado por ser aluno do Departamento de Informática da UC e por mostrar interesse na vertente da realidade virtual. Antes de decidir fazer parte deste estudo, precisa de compreender os riscos e os benefícios envolvidos. Este formulário de consentimento fornece informações sobre o estudo. Um membro da equipa de investigação estará ao seu dispor para responder às suas perguntas e dar explicações adicionais. Se concordar em fazer parte deste estudo de investigação, ser-lhe-á solicitado que assine este formulário de consentimento. Este processo é conhecido por consentimento com conhecimento de causa ou informado. A sua decisão em fazer parte do estudo é estritamente voluntária. É livre de optar ou não por participar.

Objetivos: Este estudo é para uma dissertação/estágio de Mestrado em Engenharia Informática – ramo de Engenharia de software, do aluno Tiago Martins Andrade da Universidade de Coimbra.

Com presente estudo pretende-se saber quais são os valores para os parâmetros de velocidade, aceleração e rotação (para cada protótipo de locomoção) que produzem menos desconforto (simulation sickness) a fim de se poder introduzir esses parâmetros num jogo de realidade virtual.

Procedimentos: Se aceitar participar neste estudo, receberá informações adequadas das tarefas que irá realizar no mundo virtual e receberá ajuda para colocar o equipamento de realidade virtual. De seguida terá que seguir as instruções que recebeu e preencher todos os questionários que lhe forem solicitados.

O tempo previsto de realização da tarefa/experiência é de 30 minutos.

Possíveis riscos: A participação no estudo poderá induzir sintomas de cinetose nomeadamente: desconforto, fadiga, dores de cabeça, olhos cansados, dificuldade em focar, náusea, tonturas e vertigens.

Possíveis benefícios: Se o estudo provar que existem valores para os parâmetros, acima indicados, que reduzam a Simulation Sickness, pode melhorar a experiência final do jogo a ser realizado, bem como uma utilização mais adequada destes parâmetros após análise dos valores conseguidos, em futuros jogos/experiências de VR.

Custos: A participação no estudo não terá qualquer custo para si.

Compensação: Não está previsto qualquer tipo de pagamento aos participantes deste estudo.

Direito a desistir do estudo: A sua participação neste estudo de investigação é voluntária. Poderá decidir não começar ou cessar a sua participação neste estudo em qualquer altura. Caso pretenda terminar a sua participação durante a simulação, deverá pressionar um botão

Anexo D – Consentimento informado

de stop e notificar o investigador presente na sala para o(a) ajudar a retirar o equipamento de realidade virtual.

Confidencialidade e anonimato: Ser-lhe-á atribuído um número de identificação. No seu processo constarão dados relativos ao sexo, idade, os seus hábitos de jogo, se sente cinetose quando joga e se já alguma vez experimentou realidade virtual.

Os resultados da investigação serão apresentados na dissertação final e poderão ser divulgados em Reuniões Científicas e publicados em Revistas Científicas, mas a sua identificação (nome e BI/CC) será sempre mantida em sigilo.

Só terá conhecimento dos resultados deste estudo se for essa a sua vontade e se o expressar por escrito.

Perguntas: se tiver alguma dúvida relativa à utilização do equipamento de realidade virtual, ou na tarefa a desempenhar durante a simulação, terá sempre o apoio de um investigador na sala.

Assinaturas: Através da assinatura deste formulário de consentimento, afirma que leu este formulário de consentimento, que este estudo lhe foi explicado, que as suas perguntas foram respondidas e que está de acordo em fazer parte deste estudo. Não está a abdicar de nenhum dos seus direitos legais ao assinar este formulário de consentimento com conhecimento de causa. Ser-lhe-á entregue a si e aos investigadores do projeto uma cópia deste formulário de consentimento. Através da assinatura deste formulário, também afirma que está a fazer parte deste estudo de sua livre vontade e que dá autorização a Tiago Martins Andrade, à Mimicry Games e à Universidade de Coimbra, para utilizarem e estudarem os seus dados fornecidos para este estudo.

Por favor, leia com atenção a seguinte informação. Se achar que algo está incorreto ou que não está claro, não hesite em solicitar mais informações. Se concorda com a proposta que lhe foi feita, queira assinar este documento.

Assinatura e número de CC/BI de quem pede consentimento:

Data: ___/___/____

Declaro ter lido e compreendido este documento, bem como as informações verbais que me foram fornecidas pela pessoa que acima assina. Foi-me garantida a possibilidade de, em qualquer altura, recusar participar neste estudo sem qualquer tipo de consequências. Desta forma, aceito participar neste estudo e permito a utilização dos dados que de forma voluntária forneço, confiando em que apenas serão utilizados para esta investigação e nas garantias de confidencialidade e anonimato que me são dadas pelo/a investigador/a.

Nome:

Assinatura:

Data: /..... /.....

SE NÃO FOR O PRÓPRIO A ASSINAR POR IDADE OU INCAPACIDADE

(se o menor tiver discernimento deve também assinar em cima, se consentir)

NOME:

BI/CC N.º: DATA OU VALIDADE /..... /.....

GRAU DE PARENTESCO OU TIPO DE REPRESENTAÇÃO:

ASSINATURA

ESTE DOCUMENTO É COMPOSTO DE 2 PÁGINAS E FEITO EM DUPLICADO: UMA VIA PARA O INVESTIGADOR, OUTRA PARA A PESSOA QUE CONSENTE.

Anexo E. Non-Disclosure Agreement

THIS NON DISCLOSURE AGREEMENT is made on DATE.

BETWEEN

1. Mimicry Games, having its registered headquarters at Alberikpad 10, 3833 BV, Leusden, Netherlands, (the Disclosing Party); and

2. _____, (the Receiving Party),

collectively referred to as the Parties.

RECITALS

A. The Receiving Party understands that the Disclosing Party has disclosed or may disclose information relating to source code, product designs, art, and other related concepts, which to the extent previously, presently, or subsequently disclosed to the Receiving Party is hereinafter referred to as Proprietary Information of the Disclosing Party until another agreement is entered into.

OPERATIVE PROVISIONS

1. In consideration of the disclosure of Proprietary Information by the Disclosing Party, the Receiving Party hereby agrees: (i) to hold the Proprietary Information in strict confidence and to take all reasonable precautions to protect such Proprietary Information (including, without limitation, all precautions the Receiving Party employs with respect to its own confidential materials), (ii) not to disclose any such Proprietary Information or any information derived therefrom to any third person, (iii) not to make any use whatsoever at any time of such Proprietary Information except to evaluate internally its relationship with the Disclosing Party, and (iv) not to copy or reverse engineer any such Proprietary Information. The Receiving Party shall procure that its interns, employees, agents and sub-contractors to whom Proprietary Information is disclosed or who have access to Proprietary Information sign a nondisclosure or similar agreement in content substantially similar to this Agreement.

2. Without granting any right or license, the Disclosing Party agrees that the foregoing shall not apply with respect to any information after five years following the disclosure thereof or any information that the Receiving Party can document (i) is or becomes (through no improper action or inaction by the Receiving Party or any affiliate, agent, consultant, intern or employee) generally available to the public, or (ii) was in its possession or known by it prior to receipt from the Disclosing Party as evidenced in writing, except to the extent that such information was unlawfully appropriated, or (iii) was rightfully disclosed to it by a third party, or (iv) was independently developed without use of any Proprietary Information of the Disclosing Party. The Receiving Party may make disclosures required by law or court order provided the Receiving Party uses diligent reasonable efforts to limit disclosure and has allowed the Disclosing Party to seek a protective order.

3. Immediately upon the written request by the Disclosing Party at any time, the Receiving Party will return to the Disclosing Party all Proprietary Information and all documents or media containing any such Proprietary Information and any and all copies or extracts thereof, save that where such Proprietary Information is a form incapable of return or has been copied or transcribed into another document, it shall be destroyed or erased, as appropriate.

4. The Receiving Party understands that nothing herein (i) requires the disclosure of any Proprietary Information or (ii) requires the Disclosing Party to proceed with any transaction or relationship.

5. The Receiving Party further acknowledges and agrees that no representation or warranty, express or implied, is or will be made, and no responsibility or liability is or will be accepted by the Disclosing Party, or by any of its respective directors, officers, employees, interns, agents or advisers, as to, or in

Anexo D – Consentimento informado

relation to, the accuracy of completeness of any Proprietary Information made available to the Receiving Party or its advisers; it is responsible for making its own evaluation of such Proprietary Information.

6. The failure of either party to enforce its rights under this Agreement at any time for any period shall not be construed as a waiver of such rights. If any part, term or provision of this Agreement is held to be illegal or unenforceable neither the validity, nor enforceability of the remainder of this Agreement shall be affected. Neither Party shall assign or transfer all or any part of its rights under this Agreement without the consent of the other Party. This Agreement may not be amended for any other reason without the prior written agreement of both Parties. This Agreement constitutes the entire understanding between the Parties relating to the subject matter hereof unless any representation or warranty made about this Agreement was made fraudulently and, save as may be expressly referred to or referenced herein, supersedes all prior representations, writings, negotiations or understandings with respect hereto.

7. This Agreement shall be governed by the laws of the jurisdiction in which the Disclosing Party is located (or if the Disclosing Party is based in more than one country, the country in which its headquarters are located) (the Territory) and the parties agree to submit disputes arising out of or in connection with this Agreement to the exclusive courts in the Territory.

Agreed to and accepted by:

(the Disclosing Party): Mimicry Games

Signature: _____

Print Name: Thomas J. Papa

Title: Founder & Creative Director

Date: ____/____/____

(the Receiving Party): _____

Signature: _____

Print Name: _____

Title: _____

Date: ____/____/____

Anexo F. Apresentação das tabelas do CVS

Anexo F - Tabela dos resultados da simulação

ID	Basic					V1							
	Age	Gender	Do you play in a daily basis?	Do you normally feel Motion Sickness when playing?	Did you already tried VR?	1. General discomfort	2. Fatigue	3. Headache	4. Eye strain	5. Difficulty focusing	6. Salivation increasing	7. Sweating	8. Nausea
...

													V2	...		
													Times		SSQ	...
9. Difficulty concentrating	10. Fullness off the head	11. Blurred vision	12. Dizziness with eyes open	13. Dizziness with eyes closed	14. Vertigo	15. Stomach awareness	16. Burping	1.	2.	3.	4.	1. General discomfort	...			
...			

V3	...	A1			...	R1			...	
SSQ	...	SSQ			...	SSQ			...	
1. General discomfort	...	V. Preferred Velocity	1. General discomfort	2. Fatigue	...	A. Preferred Acceleration	1. General discomfort	2. Fatigue	...	R. Preferred Rotation
...

Anexo G
English Version of this Dissertation

Master of Informatics Engineering
Dissertation/Internship
Final Report
2016/2017

Locomotion in Virtual Reality

Tiago Martins Andrade

tandrade@student.uc.pt

Advisors:

Mário Zenha-Rela

mzrela@dei.uc.pt

Thomas Papa

Thomas@mimicrygames.com

Judging Panel:

Pedro Abreu

pha@dei.uc.pt

Marco Vieira

mvieira@dei.uc.pt

03 de julho de 2017



FCTUC DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA INFORMÁTICA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

[Department of Informatics Engineering – Faculty of Science and Technology – University of Coimbra]

Author notes

After noticing an increased demand to read my dissertation and a huge interest on VR technologies, I felt ashamed to not have it in a more universal language.

For that reason, I have decided that it was time to put some work into change that and be able to share my findings with everyone interested in reading it.

“Locomotion in Virtual Reality” is a complete translation of the thesis “Locomoção em Realidade Virtual” (original title) released in 2017. I’m aware that some parts of it may be already outdated, however, changing them would remove the content and context of the overall learning that I had at that time. Therefore, I decided not to change anything and keep it simple with the translation.

A special thank you to Diana Sim es for the huge help on the translation.

Please use the following citation to correctly reference this dissertation:
Andrade, Tiago Martins. Locomoção em Realidade Virtual. Diss. Universidade de Coimbra, 2017.

Please use this identifier to cite or link to this item:

<http://hdl.handle.net/10316/83272>

Acknowledgements

Thank you to my parents for giving me the opportunity to undertake this master's degree, and for the support and unconditional strength with which they provided me in order to be able to follow my dreams. Thank you to my sister for her interest in the project, and for listening to me talk about virtual reality every single day.

Thank you to Andreia for her advice concerning the document's design, and for putting up with all my "whining", giving me the love and support needed to continue and to do better.

Thank you to my cousin, António Gomes, for his effort, readiness and patience until the very end, indispensably helping me edit my Portuguese, making his presence felt despite the distance.

To Thomas and Daniela from Mimicry Games, for receiving me in such a special way, for their willingness and guidance, and for offering me such a complete internship with such attentiveness.

To my advisor, Mário Zenha-Rela, for his wonderful support with decision-making, and for his help in completing this dissertation, as well as for his ever-present good disposition.

To all my "Muguis", who put up with me through all the difficult moments, who listened to me talk hours on end about the project, who made me laugh and helped me unwind. Special thanks to Daniel, for his motivation, and for helping me see things from different perspectives through his unique "point of view", thus helping me to move forward with the writing of this document.

Thank you very much to all,

Tiago Andrade

Abstract

New virtual reality devices have generated a growing enthusiasm for the use of this technology among the general public. Furthermore, the possibility for its application in various domains of human action has increased exponentially in areas such as medicine, architecture, marketing and skills training.

Virtual reality is a type of technology that allows users to simulate real sensations in digitally generated environments. Moreover, it eliminates dangerous situations by creating an imaginary world that enables the training of new skills and new forms of entertainment. Thus, this technology presents great advances in terms of realism and easy-to-use interfaces. However, it still brings with it some constraints such as motion sickness, locomotion difficulties in virtual environments and a high cost for the general public.

This dissertation aims to present an experimental study in which a virtual environment and three types of locomotion were developed. For each type of locomotion, a specific attribute was defined namely: velocity, acceleration and rotation. Data were collected from 45 volunteers regarding levels of motion sickness through the Simulation Sickness Questionnaire (SSQ).

After analysing and reflecting on the collected data, a set of recommendations was created for future development of VR applications/games.

Keywords

Virtual Reality, Locomotion, Head Mounted Display, Motion Sickness, Simulation Sickness Questionnaire, Game Engines, Interaction Techniques, Experimental Study

Resumo

Novos equipamentos de realidade virtual têm trazido um novo entusiasmo, do público em geral, pela utilização desta tecnologia. Também as possibilidades para a sua aplicação em vários domínios da ação humana têm surgido de forma exponencial, tais como em áreas relacionadas com medicina, arquitetura, marketing, ou treino de competências.

A realidade virtual é uma tecnologia que permite simular/recriar no utilizador sensações reais em ambientes gerados digitalmente, eliminando situações que possam apresentar-se como perigosas, bem como recriar mundos imaginários, possibilitando o treino de novas competências ou novas formas de entretenimento. Apesar de esta tecnologia ter grandes avanços em termos de realismo e facilidade de utilização, ela apresenta ainda alguns constrangimentos, nomeadamente sensação de enjôo de movimento, dificuldades de locomoção no ambiente virtual, e custos demasiado elevados para o consumidor em geral, entre outros.

Assim, foi realizado um estudo experimental para o qual se desenvolveu um ambiente virtual e três tipos de deslocação. Para cada tipo de deslocação foi definido um atributo específico: velocidade, aceleração e rotação. Neste âmbito foram recolhidos dados de 45 participantes relativos à cinetose através do Simulation Sickness Questionnaire (SSQ).

Após análise dos dados e reflexão sobre os mesmos, estruturou-se um conjunto de recomendações a ter em linha de conta no desenvolvimento futuro de aplicações/jogos de VR.

Palavras-chave

Realidade Virtual, Locomoção, Head Mounted Display, Cinetose, Enjoos de Movimento, Motor de Jogo, Técnicas de Interação, Estudo Experimental, Simulation Sickness Questionnaire

Index

Chapter 1. Introduction	1
1.1. Motivation	2
1.2. Aims	2
1.3. Host entity	3
1.4. Work carried out	4
1.5. Document structure	4
Chapter 2. State of the art.....	7
2.1. Definition of virtual reality	7
2.2. Analysis of devices	11
HTC Vive.....	11
Oculus Rift	13
PlayStation VR	15
Gear VR	16
DayDream.....	17
Final Comparisons and Conclusions	18
2.3. Technology analysis.....	20
Unreal Engine	20
Unity3D	22
CryEngine	23
Conclusions	23
2.4. Analysis of VR interaction techniques.....	23
2.5. Virtual reality sickness	25
2.6. Effects of VR exposure	27
2.7. Measuring "Sickness"	28
Objective measurements	29
Subjective measurements.....	30
2.8. Locomotion methods.....	33
VR Comfort Mode	33
Roomscale Locomotion	33
Walking-in-place	35
ArmSwinger.....	36
Point-and-click Teleportation	37
Tunnelling	38
Pull/Climbing	40
Cockpit	41
Holosphere	42
Roomscale Vehicle	42
Floating Head (Third-Person).....	43
Snap N'Motion	43
Chapter 3. Methodology and planning	45
3.1. Methodologies.....	45
3.2. Risks	45
3.3. Planning	48
Chapter 4. Conception and execution of experiment.....	51
4.1. Experimental design	51

Setting	51
Locomotion type 1	55
Locomotion type 2	55
Locomotion type 3	57
Data collection	59
Task	61
Safety measure	61
Execution of experiment	62
Chapter 5. Tests, results e analysis.....	65
5.1. Logistics and equipment.....	65
5.2. Preparation.....	65
5.3. Participants.....	66
5.4. Results and analysis.....	69
Number of participants and withdrawals analysis.....	69
Analysis relative to gender	71
Analysis pertaining to prior symptoms of motion sickness.....	73
Analysis relative to age	75
Analysis relative to prior experience with VR	77
Final analysis	79
Chapter 6. Conclusion e future work	84
References	88

List of Figures

Figure 1 - HTC Vive components.....	11
Figure 2 - Oculus Rift HMD e tracking camera	13
Figure 3 - Oculus Touch	14
Figure 4 - PlayStation VR	15
Figure 5 - Gear VR	16
Figure 6 - Google Daydream	17
Figure 7 - VR interaction techniques.....	24
Figure 8 - Illustration of types of rotation.....	27
Figure 9 - Computation of SSQ scores [43]	32
Figure 10 - Representation of Roomscale (HTC Vive)	34
Figure 11 - Representation of Walking-in-place.....	35
Figure 12 - Representação do ArmSwinger	36
Figure 13 - Representation of Point-and-Click Teleportation	37
Figure 14 - Representation of Tunneling	38
Figure 15 - Tunneling technique used in the game Eagle Flight.....	39
Figure 16 - Climbing technique used in the game Climb by Crytek	40
Figure 17 - Cockpit technique used in the game EVE: Valkyrie (CCP Games, 2016)	41
Figure 18 - Representation of the Holosphere technique	42
Figure 19 - Work plan timeline	49
Figure 20 - Experimental setting	51
Figure 21 - Representação do percurso.....	52
Figure 22 - First section: straight line	53
Figure 23 - Second section: 90° turns.....	53
Figure 24 - Third section: 135° turns.....	53
Figure 25 - Setting details	54
Figure 26 - Model of locomotion type 2.....	56
Figure 27 - Graph of acceleration versus time.....	57
Figure 28 - Model of locomotion type 3.....	57
Figure 29 - Model of rope system	58
Figure 30 - Personal information questionnaire	60
Figure 31 - Simulation Sickness Questionnaire.....	60
Figure 32 - Preferences questionnaire	61
Figure 33 - Controller scheme featuring safety button.....	62
Figure 34 - Chronological order of tests.....	63
Figure 35 - Gender of participants	66
Figure 36 - Number of participants according to age	67
Figure 37 - Sente cinetose quando joga.....	67
Figure 38 - Percentage of participants who had already had experience with virtual reality	68
Figure 39 - Percentagem de desistências	68
Figure 40 - Graphs of tests using the LLN	70
Figure 41 - Graphs of TS values relative to gender	72
Figure 42 - Graphs of TS values relative to prior motion sickness symptoms.....	74
Figure 43 - Graphs of TS values relative to age.....	76

Figure 44 - Graphs of TS values relative to prior experience with VR.....	78
Figure 45 - Graph of total averages for 3 locomotion variables.....	79
Figure 46 - Graph of TS averages in velocity tests	80
Figure 47 - Graph of TS averages in acceleration tests	80
Figure 48 - Graph of TS averages in rotation tests	81
Figure 49 - Graph of TS averages in all tests.....	82

List of Tables

Table 1 - HTC Vive minimum requirements	12
Table 2 - Oculus Rift minimum requirements	13
Table 3 - PlayStation console specifications	15
Table 4 - Specifications of Samsung smartphones	16
Table 5 - Specifications of Google Pixel smartphones	18
Table 6 - Comparison between devices	19
Table 7 - Risk A.....	46
Table 8 - Risk B.....	46
Table 9 - Risk C.....	47
Table 10 - Risk D	47
Table 11 - Risk exposure matrix	47
Table 12 - Personal questionnaire data	69
Table 13 - Table representing participants who withdrew.....	71

List of Acronyms

AR - Augmented Reality
FPS - Frames per second
HMD - Head-Mounted Display
LLN - Law of Large Numbers
MSI - Motion Sickness Incidence
MSQ - Motion Sickness Questionnaire
SSQ - Simulation Sickness Questionnaire
VPL - Virtual Programming Lab
VR - Virtual Reality

Glossary

Crowdfunding - Investment modality where various people invest small amounts of money in a business or idea.

Dry run - Series of tests where the effects of a possible failure are intentionally mitigated.

Experience - Complete session, carried out by a user/player, in an interaction with the virtual world.

Frames per second - Measurement unit generally used in displays and television sets which measures the frequency that an image processing device is able to reproduce in a second.

Head-Mounted Display - Device worn on head or as part of a helmet or goggles that features a small frontal display for one or both eyes.

Immersion - User's perception that the virtual world is real, allowing for action and interaction between him/herself and the different elements that make up that world.

Interaction - Manipulation of virtual objects by the user.

Killer app - An application/program which, intentionally or not, leads the consumer to buy the equipment on which that same application runs/functions.

Law of large numbers - The arithmetic mean of the results tends to come closer to the real value when the same experiment is repeated several times. By carrying out a sufficient number of experiments it is possible to find out the probability of a natural event or a fraction of a population meeting a particular condition.

Locomotion - Displacement/action of the user in the virtual world.

Motion sickness - General term used to describe disturbances caused by non-habitual movements, including nausea experienced while using various modes of transport.

Roomscale - Term used to define an area/space where it is possible to move during the VR experience.

Scope - Context/range of the project.

Timings - Project chronology.

Tracking - Term used to define the monitoring and localization of a device, object or individual.

Virtual reality - Advanced technology which allows for the recreation of a sense of realness in immersive virtual environments in real time, through the use of digital techniques and equipments by the user.

Chapter 1.

Introduction

This dissertation aims to describe the work carried out as part of the internship included in the study plan for the Master of Informatics Engineering (Software Engineering branch), on the subject of "Locomotion in Virtual Reality", having taken place during the 2016/17 academic year under the guidance of Professor Mário Alberto da Costa Zenha-Rela and Thomas Joris Papa.

The subject of "Virtual Reality (**VR**)" has currently been the focus of a lot of attention coming from various fronts, including investigators, consumers, industrialists and major technological brands.

The basic concepts which define **VR**, as well as its evolution/development, date already from the 1950s, however, in recent years, major technological advancements have been observed in the most diverse fields, namely, entertainment, medicine (through applications and/or simulations of clinical therapeutics), military training (through simulations of specific complex activities), marketing, and others. In addition, **VR** has attracted the interest of new companies such as Valve, Oculus V.R., Sony and Google. Given their technological nature, these companies have sought to develop new and improved devices (chapter 2.2), as well as allowing for major breakthroughs in how to approach and use **VR**.

In order to use **VR**, several conditions must be met (chapter 2.1), allowing the user to "feel" as if he/she is a part of or immersed in the virtual world, thus being able to interact with it as if it were in fact reality itself. This has given rise to many challenges, as well as opportunities for developing and creating innovative forms of using this "tool" in the most diverse of contexts/environments, increasingly broadening its range of applications.

Taking into account the core subject matter of this study, expressly, that of Virtual Reality, as well as the complexity pertaining to investigation within the field of Software Engineering, it would have been impossible to exhaustively have explored all the theory, practice, concepts and possible applications of **VR**, in a work of this nature. Thus, this study was centred on the elaboration of an experimental study, the collection and analysis of data relative to different forms of locomotion in **VR**, and especially, the difficulties and side-effects (perceived as less pleasant) related to its use, so as to develop possible solutions that override the latter, making the use of **VR** more comfortable and minimizing its effects and limitations.

1.1. Motivation

Given the fact that **VR** is an emerging technology, there is a vast market yet to explore, little content having thus far been produced for the various devices, and no **killer apps** (experiences or games that persuade the consumer to buy **VR** equipment) as yet [1].

In addition, the use of **VR** presents various challenges still to be overcome, including: the user's interaction with the virtual world; the construction of narratives; the spatial perception of the audio; and the **tracking** of the user's movements, amongst others. Of special importance/interest, are also the challenges concerning the limitations of the user's locomotion in the virtual world.

Some of the effects felt by the user during his/her immersive **VR** experience, due to their locomotion within this "environment", include: feeling nauseous (motion sickness); difficulties in perceiving the boundaries of the real space surrounding them; as well as, having to deal with the difference between real movement and its translation into the virtual world, so that it does not become excessive and/or "dangerous" for the user. These may present as problems that hinder the end consumer's use of **VR**, their resolution consequently proving to be a major challenge. As such, when these become resolved, it may allow for an easier use of this technology, enabling it to reach a larger number of people/users. In light of this, this dissertation's core focus shall be on the matter at hand.

In order for the use of **VR** to become widespread and encompass more spheres of human activity, and for "new steps" to be taken towards the development of this "tool", we believe it is imperative to create solutions for the problems related to locomotion already identified. Especially so during a time when an expectant and demanding general public has begun to show more and more interest towards new experiences that involve cutting-edge technology.

1.2. Aims

The main aim of this dissertation was to, through the elaboration of an experimental study on the effects of locomotion in **VR** environments, assess the values pertaining to the user's comfort during their displacement, relative to the parameters of velocity, acceleration and rotation. As such, an investigation into the already existent forms of locomotion was conducted, and some of their concepts used in the creation of the experiences. In turn, these experimental situations served as the basis for tests in real user environments, the data/results from these later to be used in the development of an interactive game created and marketed by the host company. However, this dissertation will not delve into the game's possible development, given the time needed for its execution, which would have far exceeded the internship's

duration, the host company thus becoming responsible for its development and its respective copyrights.

It is important to note that the present study is structured so as to focus essentially around the investigative process exploring but one of the many uses of this “tool”, examining the effects of motion sickness on users relative to the aforementioned parameters. As such, the wide scope of possible investigations, applications and developments, which would have made the task at hand difficult to control and carry out in this context, had to be restricted and left for other specific investigative studies.

It is also worth mentioning that this study sought to create virtual environments that allowed for an experiential use and consequent assessment by real users in real time, through which Simulation Sickness results were able to be obtained (Chapter 5). As an end goal, was the creation of concrete solutions for the difficulties that the use of **VR** still presents, as already briefly described.

1.3. Host entity

The internship took place at Mimicry Games, a company specialized in the development of Virtual Reality Games and Software, founded in 2012 by Thomas Papa and Daniela Fontes. Based in Leusden, the Netherlands — with a development studio at the Nest Collective, and more recently, at the Pedro Nunes Institute in Coimbra, Portugal — this company, due to the nature of its activities, facilitated the access to various **VR** devices, in addition to promoting close relationships between its collaborators. It also provided all the necessary support for a better understanding of this technology and all its possible applications, as well as affording consistent guidance in the fulfilment of this dissertation.

1.4. Work carried out

During the course of the internship, which took place during the 2016/17 academic year, an experiment was planned and three methods of locomotion developed and tested, the resulting collected data then having been subject to analysis.

The bibliographical research was carried out so as to provide scientific backup for the contextualization of the state of the art, resulting in its analysis, as well as several reflections on the matter. In addition, an inventory of the various forms of locomotion was put together, and each of their advantages and disadvantages presented.

Furthermore, during the research relative to the state of the art and the learning process involved in the use of Unreal Engine, two opinion articles were produced for the platform *Medium.com*. These articles sought to address the lack of information on the developments in **VR** up to that point. The first article (Annex A) aimed at beginners, describes how to develop **VR** experiences, totalling 5500 views thus far. The second article (Annex B), identifies the platforms and online stores that distribute **VR** contents, having been seen 1000 times up to the present moment.

During the course of this experimental study, the experiment's design resulted in the elaboration of an experimental guide (Annex C) allowing for its replication in future research or studies.

After all the tests were completed, an analysis of all the data collected was carried out, taking into account the target audience's age, gender, previous experience with the use of **VR**, and possible motion sickness experienced as video game users. In this manner, the levels of Simulation Sickness (Chapter 2.7) were obtained for each of the variables of velocity, acceleration and rotation, enabling the assessment of the best values for each parameter (ideal values), as well as giving rise to hypotheses/observations to take into consideration in future developments.

1.5. Document structure

This document is divided into different chapters, which are as follows:

The first introductory chapter contains a brief description of the project, the scope of its development, the main motivational factors for its execution, its context and objectives, as well as a summary of the work carried out for this dissertation.

In the second chapter, the state of the art is presented and described. Also examined are the historical moments most relevant to the current definition of **VR**, and the evolution of the various devices today available and accessible for the most diverse applications. A range of technologies that support **VR** is also

presented, in addition to other experimental studies that examine the effects of motion sickness and the methods used in these for measuring its levels, as well as possible ways of reducing those same effects. Moreover, the various concepts related to interaction, as well as the advantages and disadvantages of the presently existent forms of locomotion, are also discussed.

The third chapter is dedicated to the methodologies used during the execution and fulfilment of the initial aims, as well as to an analysis of the risks involved in the development of this study and ways to mitigate these. Finally, it includes the planning for all the work and its respective timeline.

The fourth chapter describes in its entirety the experience conceived for the experimental study at hand, including: the design of the setting; the various forms of locomotion developed; the creation of questionnaires for the collection of data; the description of tasks carried out by users; the creation of a security measure to be used in case the experience had to prematurely be brought to an end; as well as the entire process and set of tests that made up the experience.

The fifth chapter concerns logistical issues and all the preparation that was necessary for carrying out the various stages of the experimental study. An analysis of the characteristics of the participants who took part in the tests is also presented, as well as of the data collected from the questionnaires.

The final chapter consists of the conclusions drawn from the experimental study, and includes a reflection on all the data collected, providing a number of recommendations to take into account in the future development of **VR** applications and games.

Chapter 2.

State of the art

In this chapter, all the themes relevant to the framework and scope of this dissertation shall be analysed.

To begin with, a definition and description of the term Virtual Reality (**VR**) is provided, in addition to a short history of its evolution, as well as of its characteristics and associated problems/challenges.

Subsequently, a list of the various devices that are currently relevant or popular are also presented—including their features and specific functionalities—and finally, a general comparison between all the devices is made, along with the reasons for choosing HTC Vive.

The third part of this chapter goes over the existent and more frequently used technologies in what concerns **VR**. These are then compared, and the choice for the most adequate technology within the context of this dissertation presented.

Furthermore, a study on interaction techniques is also delineated, in addition to a reflection on the feelings of nausea that **VR** may provoke in users, indicating the negative effects of the symptoms of motion sickness and the various techniques used to measure these.

Finally, various hypotheses put forth during recent years concerning how to reduce the inconveniences experienced by the user during the use of **VR**, are also listed. It was based on these hypotheses that the current study was carried out, through the creation of experiments that sought to test and validate results that will in turn serve to develop more comfortable future applications.

2.1. Definition of virtual reality

It is believed that it is innate to humans to try to escape their daily routine by creating other realities/fictions, whether for artistic, professional, cultural or purely recreational reasons. Indeed, it may be said that “virtual reality” (as an abstract concept) has been a part of humanity ever since the very first drawings dating from the Palaeolithic period, in which *homo sapiens* attempted to represent daily reality through mural paintings, whose depictions/narratives sought to reproduce real situations[2]. Thus, the sensation of action and movement implicit in the traces depicted was induced in the viewer, the narrator being present in the very action observed.

As time went on, new forms of representing the world/reality emerged, both auditory and/or visual in nature, through painting, photography, musical performances, and film (where both sounds and images are used). All these representations of reality engage the human being as spectator of these worlds. In this manner, the latter may observe (being more or less involved in accordance to the representational technique used, and using each sense organ to a lesser or a greater extent accordingly) the action, characters and messages portrayed, always from the perspective of an observer that does intervene in the narrative [3].

Over the years, and as a result of a build-up of several small achievements, the concept of actively involving the observer in the narrative began to gain shape, culminating in the appearance of Morton Heilig's Sensorama during the 1950s. The Sensorama consisted of a cabin that simulated various sensations and activated all the senses (expressly, sight, hearing and smell), as well as kinaesthetic perception¹. It also consisted of a stereoscopic display, fans, odour generators, and a vibratory chair, so as to allow the user to completely immerse him/herself in the film [4].

In the years that followed, the first head-mounted displays (**HMD**), or virtual reality goggles, emerged.

Up until that moment, despite all the advancements, a specific term that identified and defined that sort of technology did not exist. In 1987, the term "virtual reality" is created, its authorship being attributed to Jaron Lanier, founder of the company Visual Programming Lab (**VPL**) [5].

Between 1950 and 2000, several ideas and devices were developed for **VR** use by companies such as Sega, Nintendo and Virtual Group, although these did not obtain any significant success. The reasons for failing were mostly due to the limited computational power available at the time [3] [4], as well as the high production costs involved, hindering its implementation and access by the end consumer [1] [3].

The last five years have seen a growing enthusiasm in this domain, with companies such as Valve, Oculus V.R., Sony, Google, and others, having developed new devices, some of which will be discussed in the subchapter that follows (Chapter 2.2).

¹ Kinaesthesia – Perception of balance and the position of the various parts of the body, which in turn produces the sensation and perception of movement.

Currently, **VR** is not just used for entertainment purposes (films and games), as happened during its inception, having taken over other domains of human action, such as [1] [4] [5]:

- Education;
- Marketing;
- Tourism;
- Architecture;
- Live events;
- *Web browsing* [6];
- Military training and simulations;
- Diagnoses, surgeries, clinical and therapeutic treatments, medical simulations and training [7].

These are merely just some of the possible applications of **VR**, a strong candidate for *the* tool of the future.

Let us then identify the purpose/objective of virtual reality (**VR**), by resorting to the quote that follows:

The purpose of virtual reality is to make possible a sensorimotor and cognitive activity for a person (or persons) in a digitally created artificial world, which can be imaginary, symbolic or a simulation of certain aspects of the real world.

(Quoted in book 3 that quotes – Fuchs 1996, CRTCV 2004).²

Fuchs points out two important elements of **VR**'s purpose/objective. The first pertains to the capability of allowing for interactions between the user and a digitally created artificial world that involve their cognitive and sensorimotor activity. The second relates to the diverse origins of those virtual worlds "at play", which though not necessarily just mere copies of the real world, may entail three different types of contexts:

- Simulation of particular aspects of the real world
There is a need for simulations of particular aspects of the real world to be carried out, since they allow for a controlled analogous experience of a specific training environment, without the real risks and dangers for the user, although it is impossible to transpose reality in its entirety into the virtual world. These may be used to test new environments, products and possible scenarios that do not yet exist in reality or pose too many dangers or possible traumatic consequences. They may also allow for the training of more adequate and efficient behaviours by the user, in addition to preventing risk behaviours.

² Tradução da citação: O objetivo da realidade virtual é tornar possível uma atividade sensoriomotora e cognitiva para uma pessoa (ou pessoas) de um mundo artificial criado digitalmente, que pode ser imaginário, simbólico ou uma simulação de certos aspetos do mundo real.

- **Symbolic world**
Enables the use of symbolic representations in order to bring about an understanding of those experiences in the simulated world, that is, it facilitates a comprehension of those representations in the virtual world. For example, by changing the colour of a particular object, as a sign of imminent danger.
- **Imaginary world**
Virtuality is used to create an imaginary fictional world which may not comply with the rules and norms of reality, for example, in what concerns the appearance of beings and objects, the laws of physics, as well as that which is considered to be conventional and/or possible.

Thus, one of the ways in which **VR** may be defined is: the ability to transport the user to another place, through a fully immersive experience, allowing for his/her interaction and communication with digitally produced “surroundings”, as well as their observation of the effects/consequences of their actions/interactions.

Currently, due to the evolution of technology and computing, it is possible to create virtual worlds with which human beings may interact, not merely as spectators, but also as actors who become a part of that world by interacting with it, while also allowing for the observation of the effects of their actions in that same world [3], [8]–[10].

In order for this to occur, Brenda Laurel³ defends that it is necessary for certain fundamental characteristics to be present so as to produce a complete **VR** experience [9]:

- The existence of an environment that fully envelops the user (immersion);
- The user being able to see that environment through the natural movements of their head and eyes (by looking up, down and to the sides, and being able to turn 360°);
- The user being able to move freely in this environment;
- The user being able to perceive the world in 3D (awareness of objects and distances);
- The user being capable of perceiving motion parallax⁴;
- Spatial referencing of the audio in that environment;
- Differentiation between eye movement and walking movement;
- Natural gestures and movements;
- The dynamic construction of narratives where the user “creates their own story”.
- The principle of action⁵.

³ Brenda Laurel – Pioneer in the development of virtual reality who began her career at Atari in 1979, becoming a part of the Atari Systems Research Laboratory in 1982, where she began her work in **VR** [8].

⁴ Motion parallax – Perception of movement where objects that are closest appear to be moving faster, whereas those which are farthest appear to be almost still.

⁵ The principle of action - The user must be able to carry out actions in the virtual world, and to verify the effects of those same actions.

To warrant the presence of these characteristics, so as to achieve the desired effect, various technologies must be used, such as: stereoscopic displays, **head-mounted displays**, motion sensors (which imply the use of gyroscopes, accelerometers and **trackers**), input devices (such as game controllers, input sensors, hand and body **trackers**), software frameworks, development tools [1], and others.

2.2. Analysis of devices

As previously mentioned, many companies have shown interest in this domain, resulting in the production of various devices aimed at the general public. Each device presents specific characteristics: some attempt to solve existent problems connected with **VR** (by creating solutions related to movement or higher resolutions), whereas others attempt to please the target market (by creating cheaper devices).

In this subchapter, the most relevant or popular devices currently available are presented, including their respective characteristics and strong points. All the devices are then compared, and finally, the reasons for choosing one in particular expounded. The device chosen will be the one used for the development of the experiment.

Augmented reality (**AR**) devices, such as Microsoft's HoloLens, are not mentioned, their characteristics being outside the scope of this dissertation.

HTC Vive



Figure 1 - HTC Vive components

Source: <https://www.oculus.com/press-kit/hardware/>

This product was developed out of a collaboration between Valve and HTC, having been launched in April 2016. HTC Vive consists of a head-mounted display (**HMD**), two **tracking** sensors (known as "lighthouse base stations") and two movement controllers.

The **HMD** has two displays with a resolution of 1080x1200 pixels per eye (2160x1200 combined), and a 90 Hz refresh rate.

In order to be able to use this equipment, a computer connection and the use of Steam (a video game digital distribution platform) are required, providing the necessary drivers and games for the equipment.

The minimum system requirements for the use of this equipment are as follows:

Table 1 - HTC Vive minimum requirements

Component	Specification
CPU	Intel Core i5-4590 or AMD FX 8350, equivalent or superior
GPU	NVIDIA GeForce GTX 970 or AMD Radeon RX 480, equivalent or superior
RAM	4 GB RAM or more
Video output	1x HDMI 1.4, or DisplayPort 1.2 or superior
USB ports	1x USB 2.0 or superior
Operating system	Windows 7 SP1, Windows 8.1 or Windows 10

Up until October 2016, this device's differentiating factor was its capacity for **roomscale**.

Roomscale is the capability of the device to recognize the dimensions of the room it is in and thus create a playable area (limited to 4.5 m x 4.5 m). This means that the player may walk in any direction within that area and the system will be able to capture those movements through the lighthouse sensors (Chapter 2.8). These sensors are capable of recognizing and mapping out with great precision all the movements within an area, and are also relatively easy to place and set up [11].

The disadvantage of HTC Vive has mostly to do with the need to use cables between the **HMD** and the computer, thus limiting one's movements, and making the user prone to stumbling or getting caught in the cables.

Oculus Rift



Figure 2 - Oculus Rift HMD e tracking camera

Source: <https://www.oculus.com/press-kit/hardware/>

Oculus Rift is a piece of **VR** equipment developed by Oculus V.R. that began as a Kickstarter (**crowdfunding** platform) project, resulting in two development versions. The consumer version, launched during the first semester of 2016, consists of a **HMD** with two built-in headphones, a **tracking** sensor and an Xbox One controller. The **HMD** has the capacity to produce two images with a resolution of 1080x1200 pixels per eye (2160x1200) combined), with a 90 Hz refresh rate. Similarly, to the HTC Vive, it needs to be connected to a computer.

To ensure optimal equipment performance, the computer used should have the following minimum system requirements:

Table 2 - Oculus Rift minimum requirements

Component	Specification
CPU	Intel i3-6100 / AMD FX4350 or superior
GPU	NVIDIA GTX 960 or superior
RAM	8GB RAM or more
Video output	1x HDMI 1.3
USB ports	1x USB 3.0, plus 2x USB 2.0
Operating system	Windows 8 or superior

This product was initially thought out for seated **VR** experiences.



Figure 3 - Oculus Touch

Source: <https://www.oculus.com/press-kit/hardware/>

The Touch controllers and a **tracking** sensor may be acquired separately. These controllers track the players' hands and allow for an especially immersive interaction with the virtual world.

By acquiring the third **tracking** sensor, the use of **roomscale** becomes possible, similarly to what happens with the HTC Vive, although this functionality was not available until October 2016.

In terms of its disadvantages, the Oculus Rift presents the same problem as the previously described equipment concerning the use of cables. Because of its three **tracking** sensors, its assembly and configuration is much more complex [12], and if not properly configured, its **tracking** is much less precise than that of the HTC Vive [11].

PlayStation VR



Figure 4 - PlayStation VR

Source: <https://www.playstation.com/en-us/explore/playstation-vr/gallery/>

PlayStation VR is a Sony Corporation product launched at the beginning of October 2016, consisting of a **HMD** and stereo headphones. However, it requires a PlayStation 4, a PlayStation camera (sold separately), and at least one PlayStation Move controller (sold separately) in order to function [13] [14].

The specifications of the PlayStation console are as follows:

Table 3 - PlayStation console specifications

Components	Specifications
CPU	Octa-Core from 1.6Ghz to 2.75GHz
GPU	Semi-custom AMD GCN Radeon
RAM	8GB
Video output	HDMI 1.4, SD output. HD output of 720p, 1080p, 4k (not confirmed)
USB ports	2x USB 3.0
Other characteristics	Stereoscopic Output hardware supported

The **HMD** features a 960×1080 pixels per eye (1920×1080 combined) display with a refresh rate between 90 and 120 Hz.

The PlayStation VR device possesses only one **tracking** camera, and thus does not allow for **Roomscale**, preventing the user from moving about within a particular area.

Gear VR



Figure 5 - Gear VR

Source: <https://www.oculus.com/press-kit/hardware/>

This device was born out of a collaboration between Samsung and Oculus V.R., making use of Samsung smartphones (Galaxy S6, S7, Galaxy S6 Edge, S6 Edge+, S7 Edge, Galaxy Note 5). Contrary to the previously mentioned devices (which use a computer to process images and information), this device relies on a smartphone for this purpose.

The **HMD** features motion sensors, complemented by a touchpad that receives the user’s input (on the right-hand side of the device), connecting to a Samsung smartphone via micro-USB. In this manner, the smartphone serves as a display and simultaneously processes all the information.

The specifications of the S6, S7 and Note 5 are as follows:

Table 4 - Specifications of Samsung smartphones

Components	S6 Model	S7 Model	Note5 Model
Processor	Octa-core (4x2.1 GHz Cortex-A57 & 4x1.5 GHz Cortex-A53)	Octa-core (4x2.3 GHz Mongoose & 4x1.6 GHz Cortex-A53)	Octa-core (4x2.1 GHz Cortex-A57 & 4x1.5 GHz Cortex-A53)
Resolution	1440 x 2560 pixels, 5.1 inches		
RAM	3GB	4GB	4GB
GPU	Mali-T760MP8	Mali-T880 MP12	Mali-T760MP8
Battery	2550 mAh battery	3000 mAh battery	3000 mAh battery
Sensors	Fingerprint (front-mounted), accelerometer, gyro, proximity, compass, barometer, heart rate, SpO2		

DayDream



Figure 6 – Google Daydream

Source: <https://vr.google.com/daydream/static/images/pages/home/home-phones.jpg>

DayDream, developed by Google, is a piece of equipment that came to improve on the features of Cardboard [15]. Launched in October 2016, it is estimated that its sales will reach 6 million units by the end of 2017 [16].

This equipment works with Google Pixel and Pixel XL smartphones, and will soon become accessible to many other Android smartphone brands [17].

It is equipped with a simple controller, for interaction, through a touchpad and motion sensors.

The specifications of Google Pixel are as follows:

Chapter 2 – State of the art

Table 5 - Specifications of Google Pixel smartphones

Components	Pixel	Pixel XL
Processor	Quad-core (2x2.15 GHz Kryo & 2x1.6 GHz Kryo)	Quad-core (2x2.15 GHz Kryo & 2x1.6 GHz Kryo)
Resolution	1080 x 1920 pixels, 5.0 inches	1440 x 2560 pixels, 5.5 inches
RAM	4GB	4GB
GPU	Adreno 530	Adreno 530
Battery	2550 mAh battery	3000 mAh battery
Sensors	Fingerprint, accelerometer, gyro, proximity, compass, barometer	Fingerprint, accelerometer, gyro, proximity, compass, barometer

Final Comparisons and Conclusions

In the table that follows, we present a comparison between all the aforementioned products:

Table 6 - Comparison between devices

Device	Platform	Controllers	Resolution	Refresh rate	RoomScale	Price
Oculus Rift	Desktop	Touch (separate)	1080x1200 per eye	90 Hz	Yes	599€ + 199€ (controllers) + 79€ (camera extra)
HTC Vive	Desktop	Motion Controllers (bundle)	1080x1200 per eye	90 Hz	Yes	899€
PlayStation VR	Consola	Move (separate)	960x1080 per eye	90-120Hz	Yes	399,99 + 74€ (camera) + 2x 22,50€ (move controllers)
Gear VR	Mobile	Controller	1440x2560 (per display)	60Hz	No	99€
DayDream	Mobile	Controller	1080x1920 (per display)	60Hz	No	79€

As may be observed from the data presented, one of the parameters (expressly, resolution) does not factor in as a distinguishing element, since all the devices present similar characteristics in this regard. In what concerns the criterion of platforms, and considering the requirements listed below and the need for a computer, the Oculus Rift and HTC Vive devices offer better conditions in relation to the others. Moreover, despite their lower price values, the mobile devices (Gear VR and DayDream) also have lower refresh rates, in addition to **Roomscale** not being possible with these devices, hence their elimination from the selection at hand.

It so follows that, the requirements for carrying out this study are:

- Adequate computer processing capacity;
- Motion controllers that **track** hand movements (preferably included in the bundle);
- Capacity for **Roomscale**;
- Refresh rate of at least 90 Hz.

In light of these requirements, and the fact that price does not present itself as a differentiating factor, out of the devices that best meet all the requirements (HTC Vive and Oculus Rift), the device chosen was the HTC Vive, seeing that it meets all the necessary conditions.

2.3. Technology analysis

In this chapter, various game engines are analysed, expressly, Unreal Engine, Unity3D and CryEngine. These are the engines that currently allow for the creation of **VR** contents that are both free and that feature advanced functionalities.

Unreal Engine

Unreal Engine is a game engine developed in 1998 by Epic Games. It was used for the first time with the game *Unreal*, and has since served as the basis for numerous games: *Unreal Tournament* (Epic Games, 1999), *Bioshock* (2K Games, 2007), *Mortal Kombat X* (NetherRealm Studios, 2015), and many others. This tool uses C++ as a programming language, and features a Blueprint visual scripting system (which shall later be explained in more detail), allowing for an easy development of the logic needed to create all the various game mechanics.

The **VR** support introduced in version 4.0 was launched in 2012. The first device supported by this version was the Oculus Rift DK1, also launched during that same year. With version 4.14, all **VR** devices became supportable.

Up until March 2015, it was necessary to acquire a licence in order to develop games using this game engine, although from then onwards it became freely distributed. In exchange, however, Epic Games demands a royalty payment for the monetization of games created [18].

Blueprint Visual Scripting

Blueprint Visual Scripting is a gameplay scripting system based on modular programming. As often happens with object-oriented programming, this system is class-based, with each Blueprint being equivalent to a class. It is a very flexible system, in that it may be used by people without advanced programming skills, enabling them to add and test functionalities (being thus ideal for designers). Furthermore, the power of Blueprint lies in its extension of native C++ classes, bestowing this scripting language with the same advantages as the C++ language. It also allows one to add, alter, change components, and implement a personalized logic, through the use of a visual scripting language. For example, if one intends to endow a game object with a particular functionality within a particular Blueprint, this can be done by dragging the module with the specific logic/functionality intended, and connecting it to all the other functionalities it already possesses. This functionality then becomes readily available and its behaviour immediately able to be visualized. In addition, programmers may create C++ classes, and thus create personalized/customized Blueprint modules to later be used.

Each Blueprint has a construction script, equivalent to a C++ constructor, which is executed when an object is created within the engine's graphic environment. In this manner, it allows for a dynamic construction of objects and game logic, which in turn may be used as a prefab system (prefabricated module that enables the creation of various instances of the same object or game logic).

When deciding whether to program using C++ or Blueprints, two things must be taken into consideration according to the official documentation [19]: speed and complexity.

Though there are no official data pertaining to the execution speed of Blueprints and C++, there are however various reports that indicate that the excessive use of Blueprints may considerably increase overhead [20]. Nonetheless, in situations in which it is necessary to carry out lots of calculations or operate at high frequencies, there are reports that recommend the use of C++. As such, it is advisable to use a combination of both languages, by creating C++ modules that may then be used as functions in the Blueprint logic.

In terms of the complexity involved in dataset operations, string manipulation, and mathematical calculations, using C++ proves to be easier.

Nevertheless, it all comes down to the complexity of the game and the team itself, ideally there being a balance between both languages, thus enabling a quicker production and a better performance, as well as allowing for more flexibility.

The use of Blueprints appears to be the best solution for prototyping and small experiments, permitting: a rapid creation of prototypes, the detection of aspects that need improvement, and the application of new alterations or validations. If, after this phase, a prototype proves to be promising and enters the production phase, a profiling of the various Blueprints that use up more resources ought to be carried out and subsequently reconstructed in C++, thus optimizing the development process [19].

Unity3D

Unity is a game engine created by Unity Technologies in June 2005.

It initially only produced contents for Macintosh (Apple) but has since extended the platforms on which it is available, currently targeting 21 platforms including PC, Mac, Linux, Android, PlayStation, and others.

In what concerns the creation of mobile or 2D games, this tool reveals more potential than its competitors, specializing in this domain.

The programming languages it uses are C#, JavaScript and Boo.

Similarly to Unreal Engine, this tool also exists in a free-to-use version, limited in terms of revenue/profit through the payment of royalties on each sale. However, it is possible to acquire paid versions of this tool that do not limit revenue and that allow access to a greater number of services.

Version 5.1, launched in June 2015, was the first to include **VR** support, the Oculus Rift having been the first device supported.

Although it is a good tool for game development, it does present some disadvantages. Firstly, Unity3D does not make its source code freely available (unlike Unreal), hindering research concerning performance problems and their respective possible solutions. Furthermore, its Mono code editor is often not up-to-date, giving rise to compatibility issues between the game engine and the project being developed [21].

CryEngine

CryEngine was created by German company Crytek in May 2002.

This engine, according to its founding company, sets out to be “the most powerful in the market” in what concerns 3D games, offering 3D production tools, pre-made artificial intelligence systems, and so on [22].

It allows for programming in C++, C# and LUA. The supported platforms are: Windows, Linux, PlayStation, Xbox, Android and iOS. **VR** support was introduced in version 3.8.1 [23].

This engine uses a “name your own price” business model, each developer choosing how much they are willing to pay to use the game engine (even if that means €0), similarly to its competitors Unity3D and Unreal [24].

However, CryEngine was licensed to Amazon, which in turn launched Lumberyard, an improved version of CryEngine [25] [26].

The company is currently going through a phase of financial instability, having closed studios all over Europe.

Conclusions

The tool ultimately chosen was Unreal Engine, by reason of being a robust game engine, in addition to its use of Blueprints, allowing for a creation of prototypes and functional experiments in a rapid manner.

2.4. Analysis of VR interaction techniques

When designing a game or application, it is important to know and plan out all the possible interactions. This is especially true of virtual reality (**VR**), in which those interactions are of particular importance in what concerns the success and understanding of that which may be done in the virtual world (since real gestures are used to interact with the game).

These interactions may vary in their degree of naturalism or interaction fidelity, which is defined as the degree of exactness with which real interactions are reproduced in the system.

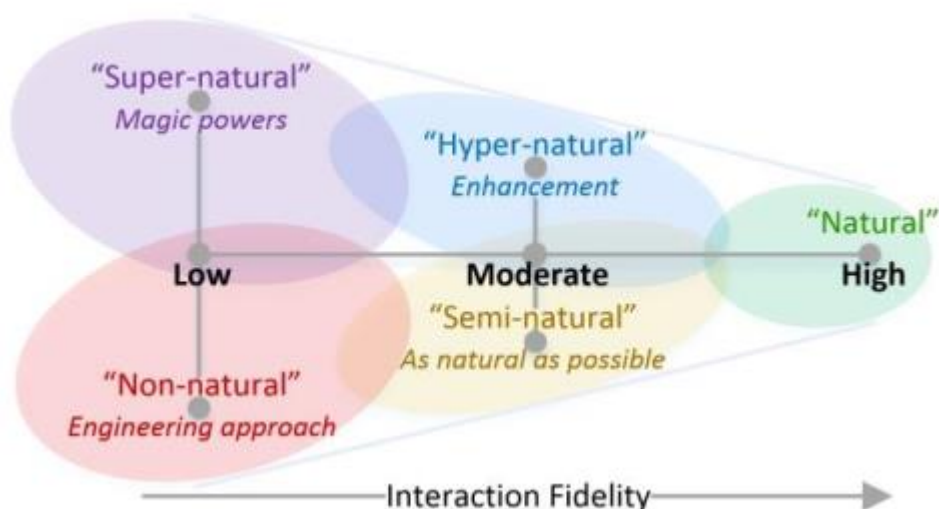


Figure 7 - VR interaction techniques

Source: [27]

There are 5 distinct forms/techniques of user/player game interaction, listed as follows [27]:

Natural:

The most common approach is through real-world natural interactions, meaning that any movement made by the user/player is reproduced on a 1:1 scale in the game, thus having the highest degree of interaction fidelity.

For example, when walking in the virtual world, the most natural technique is to let the user walk normally, so that this is replicated in the most exact way possible.

However, this is not always possible or practical, since the virtual world may be much bigger than the playable area, or it may simply prove too tiring for the player.

Semi-natural:

This approach presents a moderate degree of interaction fidelity, encompassing techniques such as walking-in-place (described in chapter 2.8) and the use of locomotion devices (treadmills), each method exhibiting different degrees of interaction fidelity. In addition to preserving the user's spatial perception, it also evinces the reduction of tasks completed in comparison with non-natural interfaces.

Hyper-natural:

Hyper-natural interactions enhance the user's real abilities. One application of this concept is the *seven-league boots* technique, consisting in the creation of a dynamic walking scale (1 real step representing 7 in the virtual world), thus optimizing walking motion in small spaces. With this approach, similarly to what happens with the semi-natural approach, users experience a moderate interaction, though the degree of fidelity is reduced intentionally by the

designer so as to improve the action's effectiveness. One disadvantage of this approach is the reduction of the user's spatial perception due to the discrepancy between the real and the virtual.

Another example of the use of this concept, is the game *Wii Sports* (tennis), which uses real movements for the tennis strokes, but instead of mapping all physical movements, maps strokes that correspond to the same "perfect" stroke in the game.

Ultimately, the designer may entirely dismiss metaphorical reality and opt for non-natural or supernatural interaction techniques with low levels of interaction fidelity.

Non-natural:

Effective way of mapping inputs into the desired action, through the use of joysticks or keyboards. For example, by pressing a particular keyboard key, the game character begins to move forward.

This concept is already used in many traditional games.

Supernatural:

Alternatively, developers may create techniques that go beyond reality, giving the user/player non-realistic powers. With this approach, there is immense freedom in what concerns the development of the techniques intended. The difference between the supernatural approach and the hyper-natural one, is that the latter allows the user to interact in ways that are possible in the real world, by using natural metaphors that enhance the user's natural abilities.

2.5. Virtual reality sickness

A *virtual reality sickness*, *cybersickness* ou *simulation sickness* ocorrem quando um utilizador é exposto a um ambiente em **VR** e cria sintomas parecidos com *motion sickness* (cinetose ou enjoos de movimento). A cinetose é causada por uma perturbação no reconhecimento do movimento feito pelo sistema vestibular⁶ (estando o corpo parado mas o ambiente em movimento) gerando um conflito de informações no sistema nervoso central, que tenta relacionar as informações da visão com as do ouvido interno [28]. Os sintomas vão desde desconforto, dores de cabeça, sensação de estômago "às voltas", náuseas, vômitos, transpiração, vertigens, fadiga até desorientação [29] [30].

This is similar to what happens with seasickness [31], which generally occurs when a person travels by boat for the first time and becomes nauseous from the oscillations and sudden changes in velocity. However, after a few hours or days, the body begins to recognize those movements, speeding up rebalancing

⁶ Vestibular system – Group of organs in the inner ear that is responsible for maintaining one's balance.

processes (between the inner ear and specific brain areas) [28], and the seasickness lessens or ceases completely.

Comparably, the more a **VR** user becomes familiarized with **VR** environments, the less discomfort they feel.

As yet, there is not, and probably will never be, a perfect solution that eliminates the feelings of nausea in all experiences created. Moreover, there are people who do not experience motion sickness, even if induced to do so, whereas others instantly feel sick.

There is evidence that, in order to reduce motion sickness, the rate of 90 frames per second (**FPS**) per eye recommended by HTC and Oculus V.R. should be maintained. However, it all depends on how the experience is developed [10].

As follows, is a list of precautions that may reduce the aforementioned symptoms:

Reducing non-forward movements

Movements that are not similar to those we use in real life tend to cause simulator sickness. These movements come into conflict with the brain's expectations, for example, when we move forward while looking to the side. There are some forms of preventing this, such as "forcing" the user/player to only walk in the direction in which they are looking, although this limits playability.

Reducing vection

Another example of a real-life situation that may provoke nausea or uneasiness, is being inside a train and looking out the window when it starts to move, giving one the sensation that it is the exterior that is moving in the opposite direction (rather than the train). This illusion is known as vection. Thus, vection occurs when a real movement is perceived by someone as happening in the opposite direction, causing nausea, which may be reduced in several different ways, for example, by reducing the complexity of textures and the player's velocity.

Reducing acceleration

Our inner ear is a biological system, which amongst other things, detects changes in velocity, recognizing the changes in movement between stopping and accelerating, thus aiding brain activity in adjusting our body's balance in accordance with the perceived movement. However, this function is not activated when we find ourselves in a state of constant velocity. Thereby, if developers are able to maintain a user moving at a constant velocity and in a straight line, the effects of nausea may be eliminated or considerably reduced.

Moreover, when elliptical movements are added (turns and jumps), and the velocity is changed, we increase the probability of a user/player experiencing nausea. This is one of the reasons why rollercoaster games are not recommended as introductory **VR** games.

Reducing camera yaw and removing roll and pitch

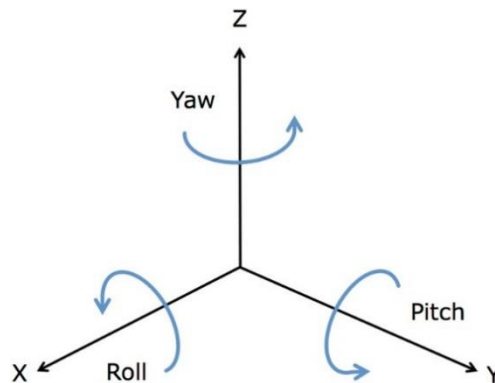


Figure 8 - Illustration of types of rotation

Source: <http://bit.ly/2iOrQkV>

Yaw refers to movements/rotations along a vertical axis, such as the turning of a plane's nose (as represented in Figure 8). Thus, should that be the objective of the experience, using yaw may be one way of inducing nausea. For this reason, yaw is a rotation type that should be used with caution.

Using it may also carry some limitations in what concerns game design, since it requires a player to be either seated on a rotating chair or standing during the experiences, controlling the rotations through their head's natural movements.

Adding a static frame of reference

This technique may not be able to be used in all experiences, but adding a static element to a **VR** experience may significantly reduce symptoms of nausea, as well as promote an increased feeling of immersion, as happens with cockpits, for example (description of a cockpit in the chapter that follows) [32], [33].

2.6. Effects of VR exposure

As previously mentioned, simulators and **VR** devices may provoke symptoms of motion sickness in participants. In this respect, various studies have been carried out, mainly by Robert S. Kennedy [34], so as to assess the effects of exposure on humans in different virtual environments. These studies demonstrate that participants who are exposed to simulators and **VR** devices develop symptoms of motion sickness during or even after exposure to these devices.

Studies on these effects have been well documented in reports pertaining to simulators, though the same symptoms have been equally reported by **VR** users, particularly those who use head-mounted displays [31].

These effects end up limiting the use of these devices, particularly in regard to training or entertainment, since they may put the participant's health or safety at risk. For example, in military training, should the participant be unable to function effectively in a virtual environment, the training's objectives may be jeopardized, and the negative effects even be transferred into the execution of tasks in reality [35].

One of the dangers concerning participants' health and safety, is the persistence of symptoms, meaning that some participants continue to manifest these for some time, even after the experience. In a study carried out by Kennedy and Baltzley on flight simulators, 75% of the military personnel tested manifested symptoms between 30 minutes and 1 hour after, 13% up to 4 hours after, and 8% up to 6 hours or more after, until having completely disappeared.

Additionally, there is also the danger of delayed effects. A participant may not experience symptoms of motion sickness during or immediately after the simulation, but may instead manifest these after some time [31].

Moreover, participants who experience these secondary effects may not be able to remain in the virtual environment, prematurely ending their experiences. Studies carried out by Stanney and Kennedy register a withdrawal rate of between 12 and 19% of participants [36].

In turn, Pausch, Crea and Conway [37], suggest that any negative impact resulting from the use of technology may make participants reluctant to use a simulation or device again, or even completely discard the idea of ever having to use that same virtual reality device in the future.

2.7. Measuring "Sickness"

In order to carry out tests that study and analyse the symptoms caused and their degree of impact, it is necessary to find a way to quantify in a valid and reliable manner the effects of simulators and **VR** devices.

Various types of objective and subjective measurements have been used in the documentation of the effects of exposure to virtual environments. In the section that follows, an analysis of the measurement techniques more commonly used in the quantification of motion sickness is presented.

Objective measurements

Motion Sickness Incidence (MSI) is the simplest form of objective measurement of motion sickness, although it is now no longer used. It consists in counting the number of people who vomit after being exposed to a certain stimulus, expressed as a percentage of the total number of participants who were exposed to that stimulus [31]. However, despite its simplicity, it presents some problems. First, it only assesses who vomits and who does not, leaving out any other type of effects (which may not be as severe as vomiting, but which may also potentially be very debilitating, such as strong nausea, dizziness and imbalance). Moreover, with **VR** devices the incidence of vomiting is very low (less than 2% [38]). Finally, the use of MSI requires that the stimulus be continuous so as to cause vomiting, which obviously has negative consequences, making this type of measurement very difficult to use, in addition to making it hard to acquire volunteers for testing.

Other efforts made in order to produce an objective measurement of the signs and severity of motion sickness focus on physiological indicators. One of the organizations who has most invested in the development of an objective measurement of motion sickness, including behavioural aspects [31]. is NASA. Nevertheless, behavioural measurements have not been particularly successful, providing only some explanations concerning sensorimotor functions such as posture and the vestibulo-ocular reflex. Other parameters, including heart rate, blood pressure, the respiratory system, the gastrointestinal system, and hormone levels associated with stress, have also been studied. Even so, the development of an objective motion sickness measurement that is valid and reliable is yet to be attained. Tests carried out by Reason and Brand, for example, show that changes in motion sickness in relation to cardiovascular and respiratory changes are inconsistent and unreliable [39]. In turn, Wertheim discovered that there is a small correlation between changes in blood flow and the severity of nausea, even though the effects are too small to be considered reliable [31].

Another study, carried out in the Department of Electrical and Computer Engineering of the University of Coimbra (DEEC) by Bruno Patrão, sought to find a correlation between heart rate, body temperature, the respiratory system and motion sickness, through the Motion Sickness Questionnaire, concluding that there are some correlations between symptoms and the rate of motion sickness, establishing a guide for the design of future **VR** applications. However, these results have not been validated, due to the small number of participants in the study. In an interview with the study's author, the latter revealed that he would continue to carry out tests in order to try to have his results validated [40].

It may then be observed that developing an objective method in this field of study has thus far proved to be difficult [31]. Kennedy suggests that all types of motion sickness (including those comprising simulators and **VR**) involve multiple symptoms. As such, assessing merely one sign or symptom does not provide an accurate measurement of motion sickness, and in turn does not allow researchers to draw significant conclusions.

Subjective measurements

In contrast to objective measurements, which only evaluate one symptom or sign of motion sickness, subjective measurements are able to evaluate multiple symptoms through self-assessment questionnaires.

Several authors defend that subjective reactions are a source of very precious information concerning the state of participants during experiences, the interrogation of these concerning subjective aspects of discomfort allowing for the inference, through the answers obtained, of what they are feeling in the moment [39] [41].

There is great concern within the scientific community surrounding the validity of using subjective information obtained through these questionnaires. Wertheim [31] responds to this concern by pointing out several studies that indicate that the validity of results has been established, demonstrating a strong correlation between questionnaire and MSI (objective measurement mentioned in the previous subchapter) results.

Lawson, Graeber, Mead and Muth, also report that subjective accounts of symptoms of discomfort have been proven to be valid and reliable measurements of an individual's physical state, in addition to being important criteria in the interpretation of physiological and behavioural effects of the exposure to causative stimuli [41].

Lastly, Wertheim [31] asserts that researchers must choose between objective and subjective measurements, relying on the validity and reliability of their measurements, and not solely on whether they produce objective or subjective data. In addition, Kennedy states that the mere choice between measurement types, is already in itself a subjective decision.

There are advantages in using self-assessment questionnaires: they are easy to use and allow for the assembly of a large number of participants in a shorter period of time, as well as being non-invasive and minimizing the costs of experiments [31] [42], Furthermore, questionnaires provide more accurate and complete measurements than standard objective measurements that assess only one symptom.

It should also be noted that the disadvantages in using subjective data are directly related to the veracity of a person's answers to the questionnaire.

The two questionnaires most commonly used in measuring motion sickness are the Motion Sickness Questionnaire (MSQ) and the Simulation Sickness Questionnaire (SSQ).

Motion Sickness Questionnaire

The Motion Sickness Questionnaire (MSQ) consists of a paper questionnaire that lists between 20 and 33 symptoms (depending on the study) associated with motion sickness (nausea, headaches, and so forth).

Each symptom on the list is classified on a Likert scale of 0 to 4 (*none, slight, moderate* and *severe* respectively). A value is then attributed to the general discomfort felt by the participant (total motion sickness score) [42], going from zero (no symptoms) to the maximum value (which indicates vomiting). The main problem with this questionnaire is that the numerical value of the total motion sickness score varies from study to study (since it depends on the initial number of symptoms included in each study). What Lane and Kennedy intended with this questionnaire, was to transform subjective symptoms into scalar values, allowing for statistical analyses of the data collected, and their consequent use in scientific research [31].

After applying this method, Lane and Kennedy [31] realised that there were deficiencies in the measurements of the MSQ in relation to **VR** devices and simulators. First, Kennedy noticed that there was a need for a consistent measurement that could be used to assess milder symptoms than that used to create the MSQ (thus excluding the need to test to the point of vomiting, for example). There were also differences between normal motion sickness and motion sickness brought on by simulators and **VR**. By exposing participants to **VR**, although it produced symptoms similar to those of motion sickness, these were usually much less severe and affected a smaller percentage of those exposed.

Furthermore, some symptoms that were valid in the MSQ, were not the most adequate, since they were never or rarely experienced (vomiting, for example) in **VR** environments.

These differences revealed that the MSQ was not the most ideal for use in situations involving simulators or **VR** devices. As a consequence, the authors considered that these differences were significant and thus justified the creation of a new questionnaire more focused on these devices. They then proceeded to reassess all the data collected from the MSQ, and created the Simulation Sickness Questionnaire (SSQ).

Simulation Sickness Questionnaire

From a calibration sample of more than 1100 pairs of the 28 MSQ items—collected from 10 flight simulators—all the answers were again analysed. This reanalysis sought to regroup the MSQ data and generate the SSQ, resulting in a more appropriate and valid categorization of the severity of simulation sickness. By creating score subscales to assess the information gathered and

separating it into distinct areas of motion sickness, this allowed for the refinement and creation of a more robust scoring method.

The SSQ (developed by Kennedy in 1993) consists of 16 items, each of which is classified on a Likert scale of 0 to 4 (*none, slight, moderate and severe*). After pondering the weight that should be attributed to each symptom, symptoms are then organized into three groups: nausea (N), oculomotor discomfort (O) and disorientation (D). By combining the three groups, a simulation sickness total score is obtained (TS) [43]. The image that follows demonstrates the aforementioned process.

TABLE 4
Computation of SSQ Scores

<i>SSQ Symptom^a</i>	<i>Weight</i>		
	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>D</i>
General discomfort	1	1	
Fatigue		1	
Headache		1	
Eyestrain		1	
Difficulty focusing		1	1
Increased salivation	1		
Sweating	1		
Nausea	1		1
Difficulty concentrating	1	1	
Fullness of head			1
Blurred vision		1	1
Dizzy (eyes open)			1
Dizzy (eyes closed)			1
Vertigo			1
Stomach awareness	1		
Burping	1		
Total^b	[1]	[2]	[3]
Score			
N = [1] × 9.54			
O = [2] × 7.58			
D = [3] × 13.92			
TS^c = [1] + [2] + [3] × 3.74			

^aScored 0, 1, 2, 3. ^bSum obtained by adding symptom scores. Omitted scores are zero. ^cTotal Score.

Figure 9 - Computation of SSQ scores [43]

From here on, the total Simulation Sickness score will be represented by TS (Total Score).

2.8. Locomotion methods

Our power/ability to move from one place to another is a fundamental prerequisite for our action/interaction in both real and virtual environments. This prerequisite, despite being considered one of the most important and powerful elements in the world of **VR**, is also the element that presents the most flaws within the **VR** system. This system (as previously mentioned in chapter 2.1) seeks to facilitate the immersivity of an individual in virtually generated environments. However, the most basic form of interaction, namely, locomotion, still does not come close to the physical movement of walking in reality. Thus, the illusion of immersion may often be lost through constructed metaphors of interaction that compromise the entire experience of immersion [44].

Even so, there are already some ideas and methods that tackle this problem/difficulty, which are listed as follows [45]:

VR Comfort Mode

When the first head-mounted displays emerged, the possibility of the displacement of users within physical space had not yet been idealized. For that reason, the first experiences created implied users being seated. As the name suggests, this method is used in the creation of experiences where the user is seated, and thus only able to move their head and arms.

Advantages: Does not cause nausea (if fake movements are not induced).

Disadvantages: The experience's design is limited to a fixed space..

Roomscale Locomotion

Roomscale was first introduced by Valve with the HTC Vive, and recently also began to be supported by the Oculus Rift.

It basically consists of a playable area (volume), in which the device's sensors are able to recognize all movements within that area. Natural interactions are normally used to map all of the user's movements and actions on a scale of 1:1, meaning that the user's movements are reproduced with maximum interaction fidelity. In this manner, the user is able to have a better experience moving within the environment that they are in, since all their movements are natural, as illustrated in the figure that follows.

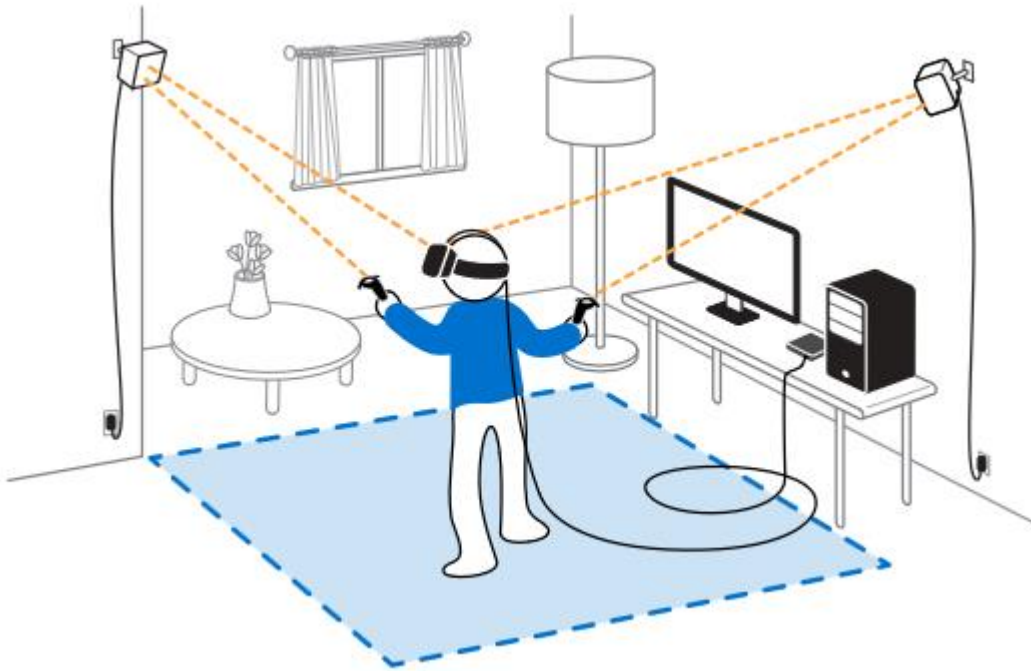


Figure 10 - Representation of Roomscale (HTC Vive)

Source: <http://bit.ly/2j2jaG6>

Advantages: The user is able to move as they wish within the playable area. It does not cause nausea.

Disadvantages: Since the virtual world may be much bigger than the playable area, it may not always be possible or practical to use, or it may prove to be too tiring for the player.

Walking-in-place

Walking-in-place is a form of seminatural interaction where walking is simulated, even though a person may be stationary in the real world. It may be initiated through a natural gesture (such as pointing in a particular direction), by pointing the controller, or by tilting the body. One's walking direction is determined by eye direction or by the direction of the controller/gesture [44].

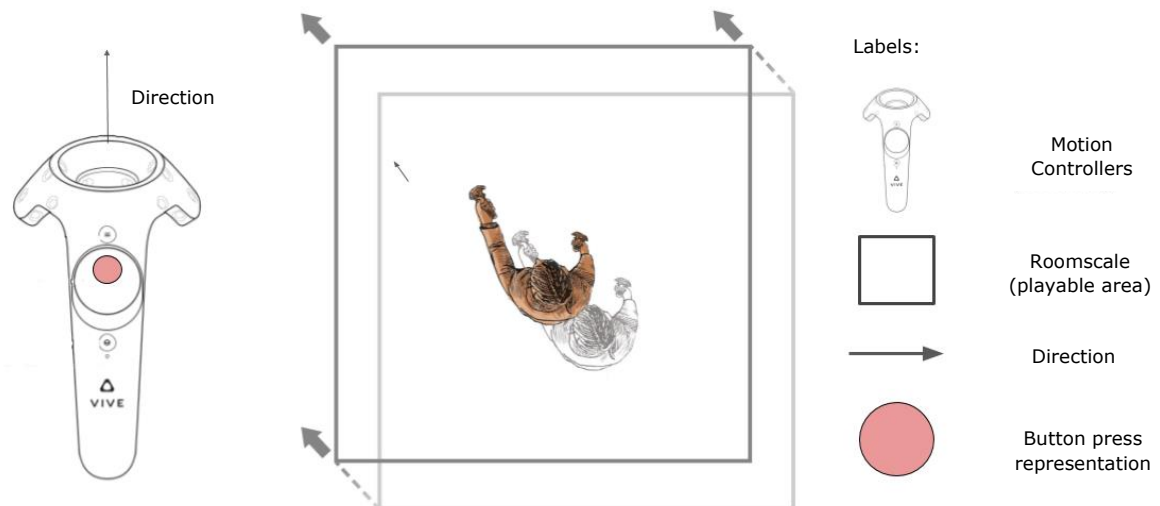


Figure 11 - Representation of Walking-in-place

Source (controller): https://www.vive.com/us/support/category_howto/720435.html

As represented by the figure on the left, by clicking a button on the controller, the direction taken is the one in which it is pointing in.

If **Roomscale** is also being used (see right-hand side of Figure 11), the playable area is adjusted according to the location of the **HMD** (head position). In other words, the physical ground will always correspond to the terrain in the virtual world, allowing the user to be aware of the physical space surrounding them.

Advantages: Allows one to “walk” in any direction and cover any distance without real movement.

Disadvantages: It may cause motion sickness, given that the user is not moving in reality.

ArmSwinger

The ArmSwinger is a locomotion technique that moves the player through the virtual world by moving the controllers instead of their legs. This concept is a new version of walking-in-place.

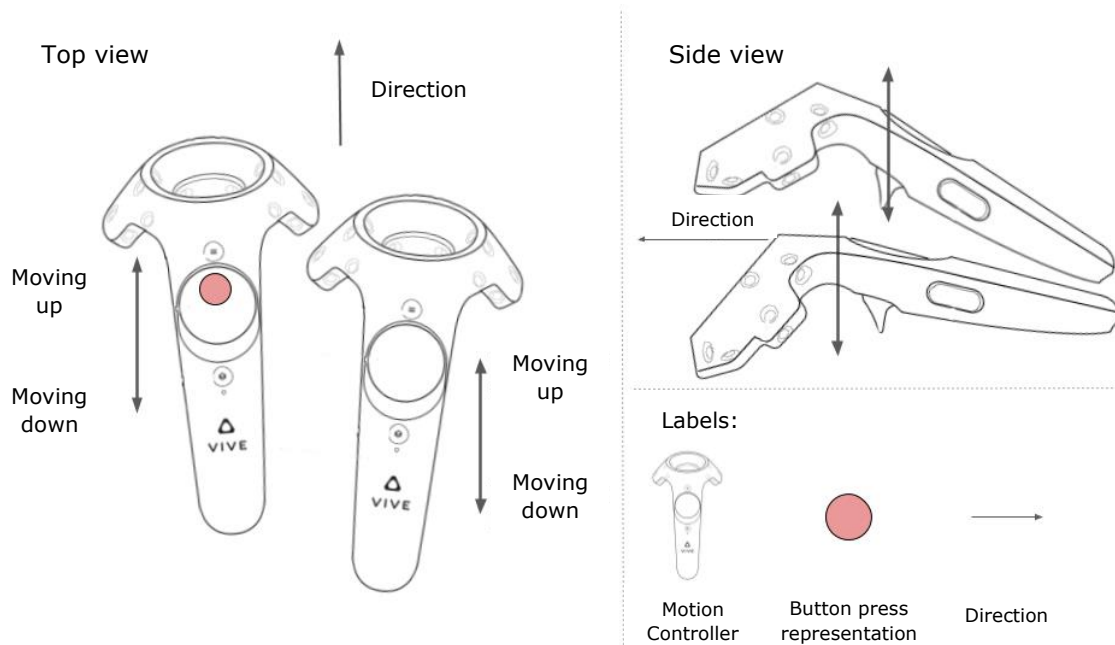


Figure 12 - Representação do ArmSwinger

Comando extraído de: https://www.vive.com/us/support/category_howto/720435.html

Movement is activated when a player presses a button (for that specific purpose). From that point onwards, movements made through the x/y/z commands are translated into movements by the player, going in the direction that both controllers are pointing to, as may be seen in Figure 12 [46].

Advantages: It works with the majority of games already available and is easily reproduced. More immersive than point-and-click teleportation.

Disadvantages: Exhausting. Not being able to interact with the world while moving. May cause nausea.

Point-and-click Teleportation

This concept is strongly associated with supernatural interaction and is currently one of the techniques most used in games.

The image that follows describes point-and-click teleportation.

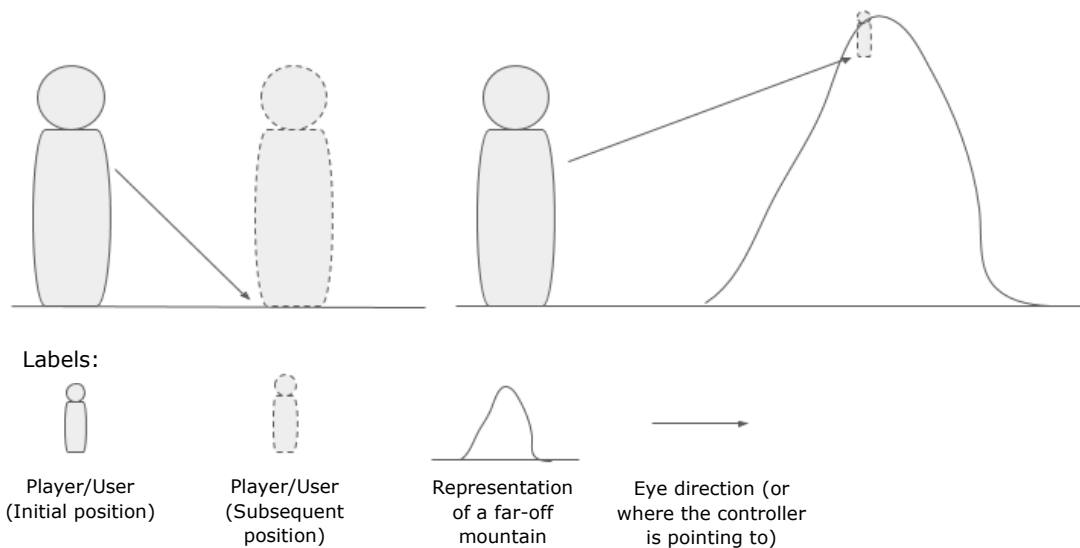


Figure 13 - Representation of Point-and-Click Teleportation

The user points the controller or looks in the direction in which they want to go. When satisfied, they press a button, and there is a quick succession of fade out and fade in that takes them to their new position [36] [37].

Advantages: Does not cause motion sickness since there is no movement during transitions and vision is completely withdrawn. Action is intuitive.

Disadvantages: Spatial disorientation.

There is no natural velocity limit, meaning that regardless of the place where one points to (near or far), the teleportation velocity is always the same. Thus, repeatedly pressing the button in order to move in small increments becomes normal. This action may cause motion sickness if the steps taken are too small.

There is no natural distance limit, so that a player may point-and-click to teleport to any place, as long as the controller has a line of sight to the chosen place. The maximum distance a player may be able to cover could potentially be limited, but that would not be a natural limit.

Although this teleportation effect may take away the sensation of being immersed in the game, should this method of locomotion be incorporated into the game's environment/story/lore, excellent results may be produced. However, teleportation does not fit in with all narratives, and there may even be cases where it is not convenient, such as a Wild West environment for example, where this technique would make the game lose all its credibility [47].

Tunnelling

Tunnelling is a locomotion technique that attempts to combine the strengths of constant and instantaneous movement simultaneously. The name comes from "tunnel vision", denoting the perception of movements through a tunnel.



Figure 14 - Representation of Tunneling

Source: <https://youtu.be/IKnM5qC-XpY>

Tunneling seeks to restrict the effect of vection (chapter 2.4), through a small central area of visibility. The then reduced image continues to display the usual movements that allow a player to conduct their character. The peripheral image remains static (or disappears completely as may be observed in Figure 15), and thus vection (illusion of movement) is not produced in the image's periphery. The objective is to create an illusion for the user in which there are no accelerations, whilst allowing for their character to be conducted and their movements to be observed [49].



Figure 15 - Tunnelling technique used in the game Eagle Flight

Extraído de: <https://youtu.be/SWWjvbdH01I> [50]

Lastly, once a movement is completed, the image's periphery goes back to normal.

Advantages: Significantly reduces nausea.

Disadvantages: The static image, or lack thereof, remains visible in the periphery of the screen. Requires great computing power. (The images for each eye need to be rendered separately and reconstructed with the applied effect, as may be seen in Figure 15).

Pull/Climbing

This technique gives the user the sensation of being able to move the world with their hands. By extending their hand forward, pressing a button and then “pulling” the controller towards their body, the world appears to move in that same direction.



Figure 16 - Climbing technique used in the game *Climb* by Crytek

Source: <http://www.theclimbgame.com/>

This technique has been used in the following games: *Paintey* (Brian Lindenhof, 2016) and *Climb* (Crytek, 2016).

Advantages: Very immersive in climbing games.

Disadvantages: The user cannot interact with the world while they move.

Cockpit

Technique where a fixed image, such as a frame of the interior of a vehicle or a space cabin, is used.



Figure 17 - Cockpit technique used in the game EVE: Valkyrie (CCP Games, 2016)

Source: <http://bit.ly/2kaBGOC>

In this manner, having a static image as a reference point helps prevent nausea, giving the user the sensation of being in a stable environment.

However, this technique may only be used by having the user inside a vehicle, and that same vehicle constituting one of the game's fundamental mechanisms.

Advantages: Reduces nausea.

Disadvantages: It may only be reproduced in situations that make sense, such as driving a car or ship. Does not work well with an artificial and physical mover at the same time (does not allow for **Roomscale**).

Holosphere

Here the same concept behind the cockpit is applied, but in this case, a geodesic sphere appears every time we move or rotate in an unnatural manner.



Figure 18 - Representation of the Holosphere technique

Source: <https://youtu.be/oSP5sjg9TIs>

The sphere disappears as soon as the movement or rotation ends, providing the player with a fixed point and a consistent frame of reference.

Advantages: Reduces nausea.

Disadvantages: Disrupts immersion every time there is a false movement.

Roomscale Vehicle

This technique is similar to that of the cockpit, but in this case, the entire playable area is confined to the interior of the vehicle. It allows players to walk naturally within the playable area (the interior of the vehicle), in addition to enabling them to steer the vehicle within the virtual world.

Advantages: Users are able to move within the vehicle without disrupting immersion.

Disadvantages: A context needs to be created where the vehicle used makes sense (as with the **cockpit**).

Floating Head (Third-Person)

This technique is already used in many third-person games, in which a camera is fixed behind a character, allowing the user to see the character they are controlling at some distance.

Advantages: **Tracking** of the controllers is not needed.

Disadvantages: Does not avert nausea and may be less immersive.

Snap N'Motion

This technique is used with **Roomscale**. Here the user "walks" normally within the playable area, and every time they are about to hit a wall in the real world, their character in the virtual world makes a 180° turn, forcing the player to turn around in the real world in order to continue walking.

Advantages: Makes full use of **Roomscale** technology.

Disadvantages: Constantly changing direction (in a "snap" manner) causes disorientation and fatigue, as well as not being immersive.

This chapter served as the theoretical basis for the elaboration of the current dissertation, particularly in the development and execution of the experimental study.

Chapter 3. Methodology and planning

In this chapter, the methodologies used in the elaboration of this dissertation, the risks involved in the development of the different tasks and ways to mitigate these, in addition to the planning of the different phases of the current study's development, are presented.

3.1. Methodologies

This project essentially consisted in carrying out an experimental study that sought to investigate techniques, processes and tools through experimentation.

The methodology relied on controlling the variables used and the execution of the experiment itself, allowing for the validation and generalization of the data collected, as well as enabling an eventual repetition of the study.

In line with its structure, tasks were planned out in the following way:

- Description of experimental objectives;
- Design of the experiments;
- Data collection;
- Data analysis.

During the study's developmental phase, weekly meetings were carried out in order to monitor the time spent on tasks and verify all the functionalities being developed, so as to assess progress and make any necessary changes or adjustments.

3.2. Risks

Any software development project or scientific study carries with it associated risks, thus the relevance of carrying out a study that aims to identify those risks, respectively creating plans to mitigate these.

The mere fact that the project at hand is centred on the manipulation of the latest technologies, which are constantly being modified, may in itself present a source of risks for its development.

Thus, after assessing the risks, it is then necessary to classify them in relation to three categories: impact, probability and time frame.

Impact (Effect on the project’s success should it occur):

- **High:** The project’s success is compromised.
- **Medium:** The project’s success is possible, but implies great financial and temporal costs.
- **Low:** Success is attained with little difficulty.

Probability (Probability of a particular risk causing the inferred impact)

- **High:** Over 70% probability.
- **Medium:** Between 40% and 70% probability.
- **Low:** Under 40% probability.

Time Frame (Time elapsed between the identification of a risk and needing to actually deal with it)

- **Long:** Time frame of over 3 months.
- **Medium:** Time frame of between 1 and 3 months.
- **Short:** Time frame of less than 1 month.

As follows, tables detailing the various risks and their respective classifications are presented.

Table 7 - Risk A

Identifier	A
Risk	Technologies used (in VR) have a high learning curve
Impact	Medium
Probability	Medium
Timeframe	Medium
Consequences	Delays or failing to comply with plan
Mitigation	Allow more time for learning how to use these

Table 8 - Risk B

Identifier	B
Risk	Learning how to use Unreal Engine
Impact	Medium
Probability	Low
Timeframe	Short
Consequences	Delays or failing to comply with plan
Mitigation	Change to Unity3D

Table 9 - Risk C

Identifier	C
Risk	Optimistic estimate of the experiment's development times
Impact	Medium
Probability	Medium
Timeframe	Medium
Consequences	Delays or failing to comply with plan
Mitigation	Weekly monitoring of the progress of tasks or reduction of experimental features

Table 10 - Risk D

Identifier	D
Risk	Not attaining the minimum sample size for the experiment
Impact	High
Probability	Medium
Timeframe	Long
Consequences	Not being able to analyse data collected and failing to meet the dissertation's objectives.
Mitigation	Announce in advance and by using various means (faculty's mailing list and social media)

So as to prioritize risks and aid decision-making, a risk exposure matrix was created (impact vs. probability).

Table 11 - Risk exposure matrix

Risk Matrix		Impact		
		Low	Medium	High
Probability	Low	Green	B	Orange
	Medium	Green	A, C	D
	High	Orange	Red	Red

Table: Colour (Exposure) - Green (Low), Orange (Medium), Red (High)

We may then observe in Table 11 that risk D should be highly prioritized, risks A and C intermediately prioritized, and risk B lowly prioritized.

So as to mitigate the effects of risk D, the experiment was promoted amongst the target population well beforehand in an organized fashion, through electronic means/platforms and social media. In addition, the place/physical space where the experiment was to be carried out, was chosen so as to be easily accessed and thus attract a greater number of participants.

Concerning the number of participants in the experiment, arrived at via means of interviews with psychologists and medical researchers, it was established that 30 volunteers was a reasonable amount to conduct a scientific study of statistical relevance/significance.

With regard to risks A, B and C, all identified in advance, despite presenting a medium impact and a low to medium probability, they were prevented from occurring due to their previously defined mitigation plans.

3.3. Planning

The work carried out for this project was divided into three phases.

During the first phase, all the relevant information and scientific knowledge was gathered, serving as the theoretical basis for the development of the project/experimental study. This included the compilation of historical information concerning virtual reality, a reflection on its possible definitions, and an assessment and comparison between various **VR** devices currently on the market. In addition, an analysis of currently available game engines was also carried out, as well as an analysis of various scientific papers on the effects of motion sickness and ways to measure these. All of this information was of extreme importance for the execution of the experiment.

The second phase involved the design of the virtual setting that was going to be used, taking into account all the logistics necessary for carrying out the experiment/tests. Decisions were also made concerning the means of reaching the target audience required for the execution of the experiment. Moreover, the experimental study's objectives, the parameters that were chosen for analysis, and the theoretical concepts that served as its basis, were all taken into account.

Finally, during the third phase of the study, all the data produced in the experiment/tests was collected, analysed and reflected upon.

In Figure 19, the scheduling of each task and the respective time allocated for its execution are shown.

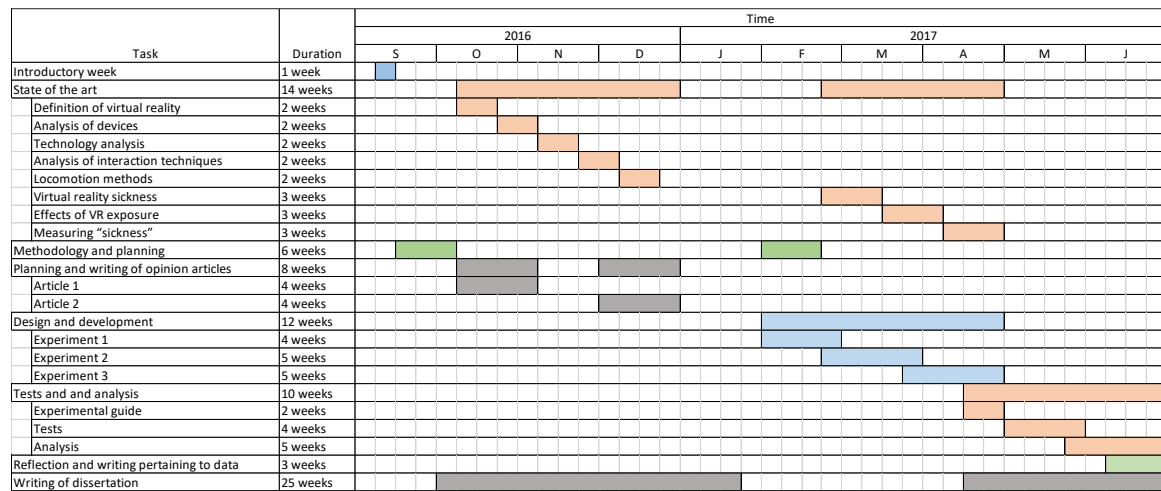


Figure 19 - Work plan timeline

Chapter 4.

Conception and execution of experiment

The starting point for this experiment's design process was the definition of its main objective and the determination of the parameters/attributes that would allow for the collection and analysis of data.

In view of this study's main objective—to analyse levels of motion sickness caused by locomotion in virtual environments—in this chapter, all the considerations taken into account during the development of the experiment's design are presented.

It should be mentioned that locomotion refers to the user's action in moving from one place to another, and as previously mentioned in chapter 2, motion sickness may be caused by non-real movements during the user's displacement/movement within a virtual environment. Considering that in virtual reality the user is not able to move normally, or has a very reduced area within which to move, this environment calls for the use of non-real locomotion techniques that simulate the perception of that same reality, which may produce undesirable symptoms.

4.1. Experimental design

For the execution of this experiment, a setting simulating a game environment was initially created, having been constructed so as not to cause any type of motion sickness.

Setting

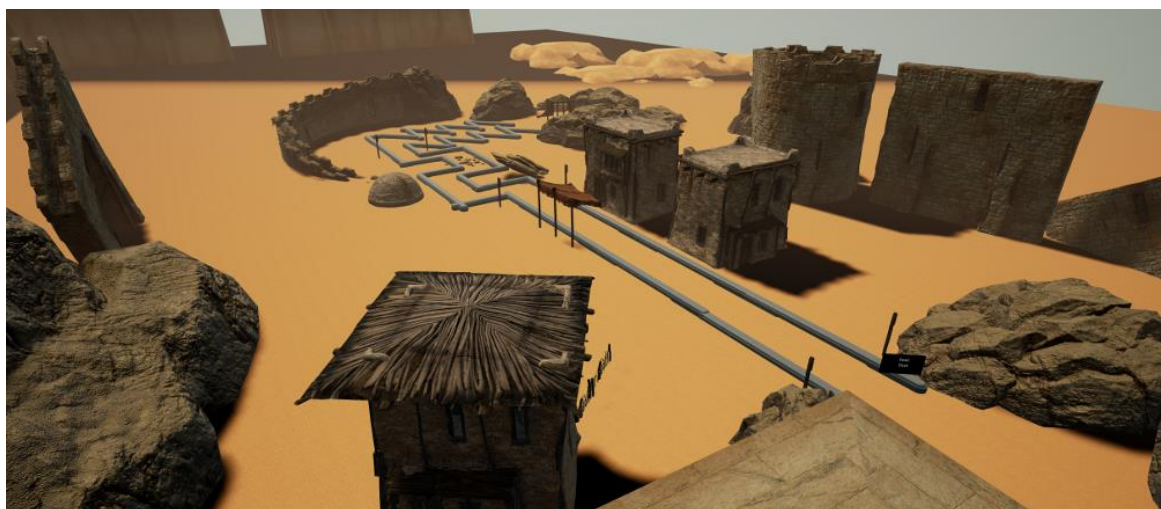


Figure 20 - Experimental setting

Chapter 4 – Conception and execution of experiment

The experiment's virtual setting (as may be observed in Figure 20, depicting a desert environment, was inspired by a game that is being developed by the host company.

Consisting of a course that participants were to follow by using different types of locomotion (as previously described), in all the tests carried out the same course design was used (as shown in Figure 21). However, the distance from start to finish varied according to the velocity defined for each type of locomotion, so that the duration of all tests (one minute on average) was identical.

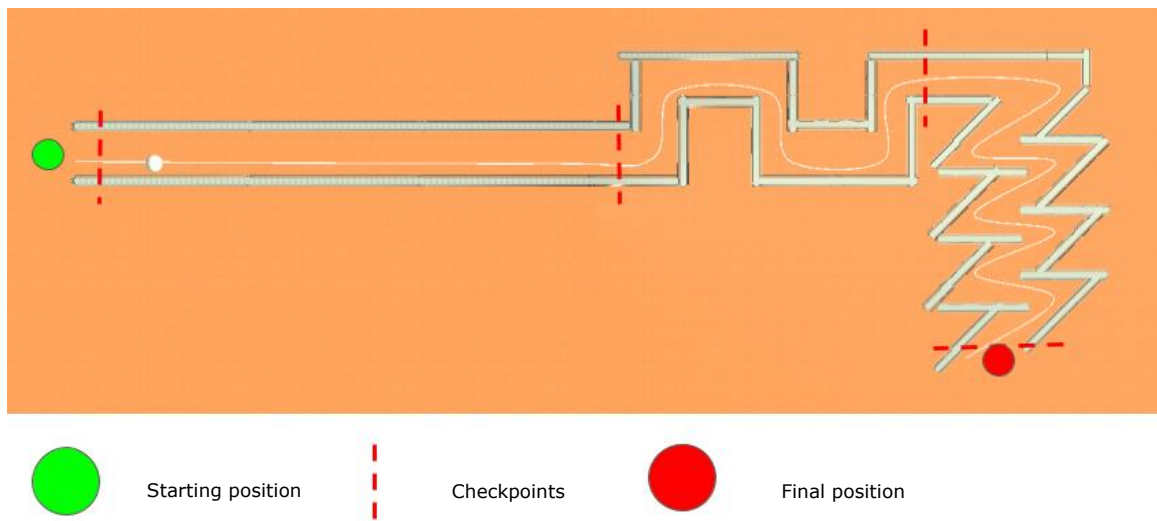


Figure 21 – Representation of the course

The course was divided into three sections (so as to cause or simulate changes in equilibrium—simulation sickness), forcing all participants to follow a well defined path and carry out the same actions:

- First section: straight line;
- Second section: 90° turns;
- Third section: 135° turns.

The various sections are illustrated in the three figures that follow.

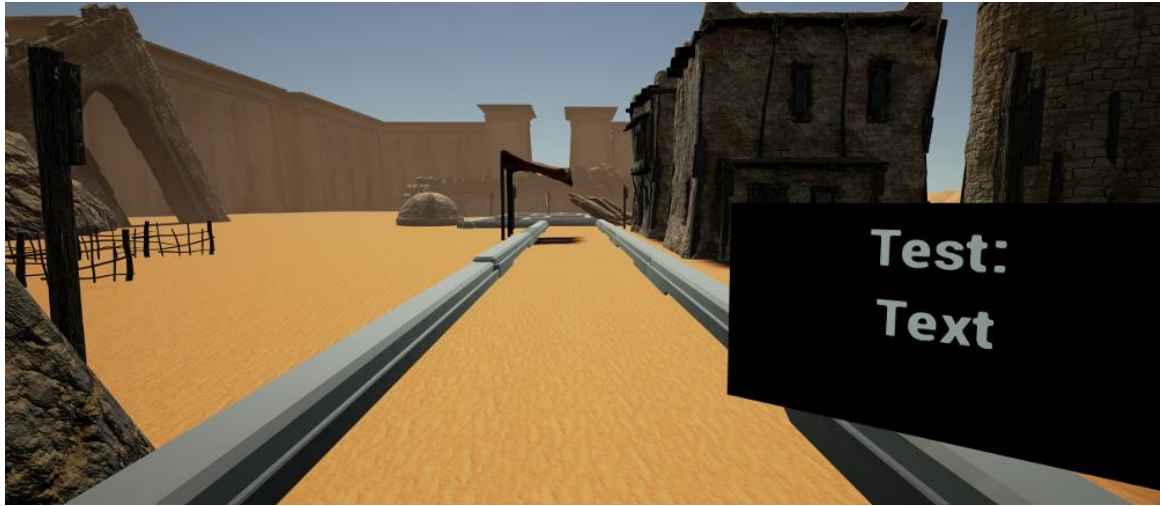


Figure 22 – First section: straight line

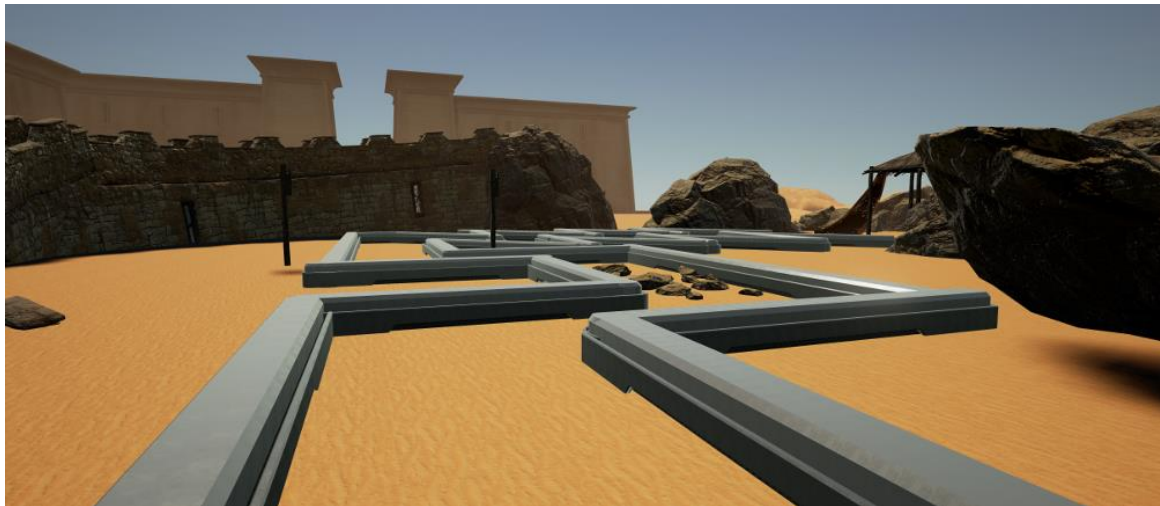


Figure 23 – Second section: 90° turns

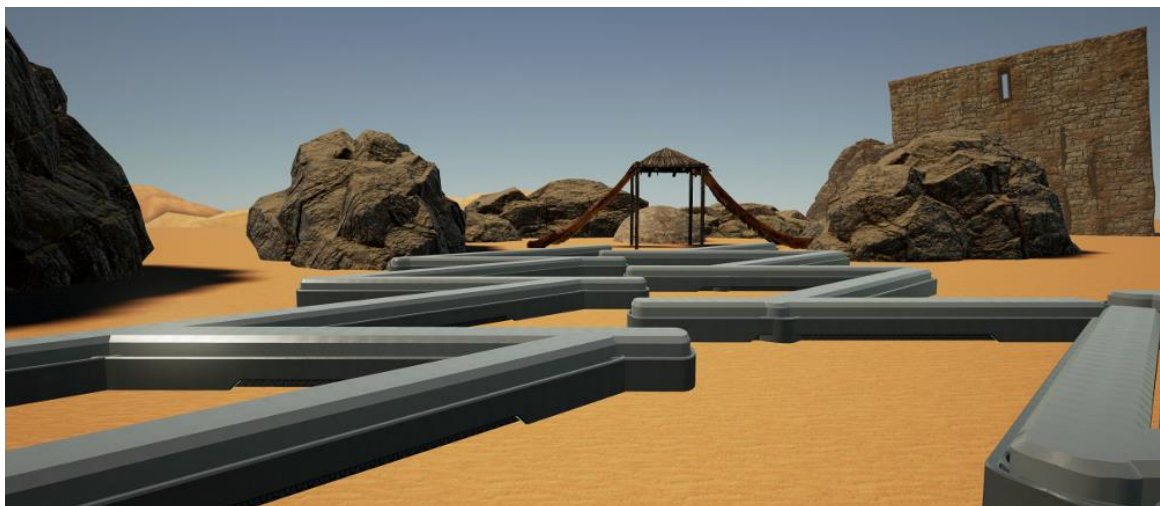


Figure 24 – Third section: 135° turns

Chapter 4 – Conception and execution of experiment

Various checkpoints were placed throughout the course in order to record the time taken by each participant to cover each section, thus allowing for partial and total times for each test and participant.

In order for participants to feel that they were moving, the course's environment included some fixed features, such as buildings, walls and ruins (as may be observed in Figure 25).



Figure 25 - Setting details

After the construction of the setting, the following phase involved the development of three types of displacement, so as to simulate different forms of locomotion within the virtual environment. Each type of displacement was focused on a specific attribute, expressly: velocity, acceleration and rotation.

The aforementioned attributes were selected in accordance with the research carried out on the matter at hand, having been derived from the bibliography referenced in Chapter 2.5 on the state of the art, as those that interfere with motion sickness. Their values were then manipulated (experimentally), enabling the quantification of motion sickness.

Locomotion type 1

Locomotion type 1 sought to test the parameter of velocity by simulating the participant's walking motion, thus allowing the latter to travel greater distances in the virtual world.

The starting point for its development was the concept of walking-in-place (Chapter 2.8) through which the direction of movement may be determined in various ways, the most important being eye and controller direction.

This experiment was set up so that the direction of movement would be determined by the controller, since eye direction, despite being more intuitive, presents some limitations with regard to locomotion, including the participant's inability to look around while walking. Given the multiplayer nature of the game being developed by the host company, in addition to being required to move, players have also to be aware of their surroundings. As such, it was established that the player's head movement would be independent from their locomotion. After pointing their hand in their chosen direction, the user then simply has to press the button on the controller so as to initiate movement.

A system that prevents players from entering geometries and 3D models was also implemented. In this manner, when movement is initiated via means of the controller, a bounding sphere is created so that the player does not collide with any object in the virtual world. Should that occur, this sphere blocks the controller's input and impedes the player from advancing in that direction, forcing them to either avert the object or choose a different route.

As a final measure, three velocity values were defined so as to assess which of these would cause the least motion sickness in players.

Listed below, are the three different velocity values used, expressed in centimetres per second since this is the unit of measurement used in Unreal Engine.

- $V1 = 111.1 \text{ cm/s} = 4 \text{ km/h}$
- $V2 = 222.2 \text{ cm/s} = 8 \text{ km/h}$
- $V3 = 333.3 \text{ cm/s} = 12 \text{ km/h}$

The first value was based on a scientific article [51] that demonstrates that the average walking velocity of a person of normal stature is of 111.1 cm/s (4 km/h). The second value was obtained by doubling the first, and the third by multiplying the first value by three.

With this type of locomotion, the values pertaining to acceleration and rotation—produced by the physical movement of a player's body on a scale of 1:1—were not altered, velocity having thus been the only variable analysed.

Locomotion type 2

Locomotion type 2 sought to test the parameter of acceleration.

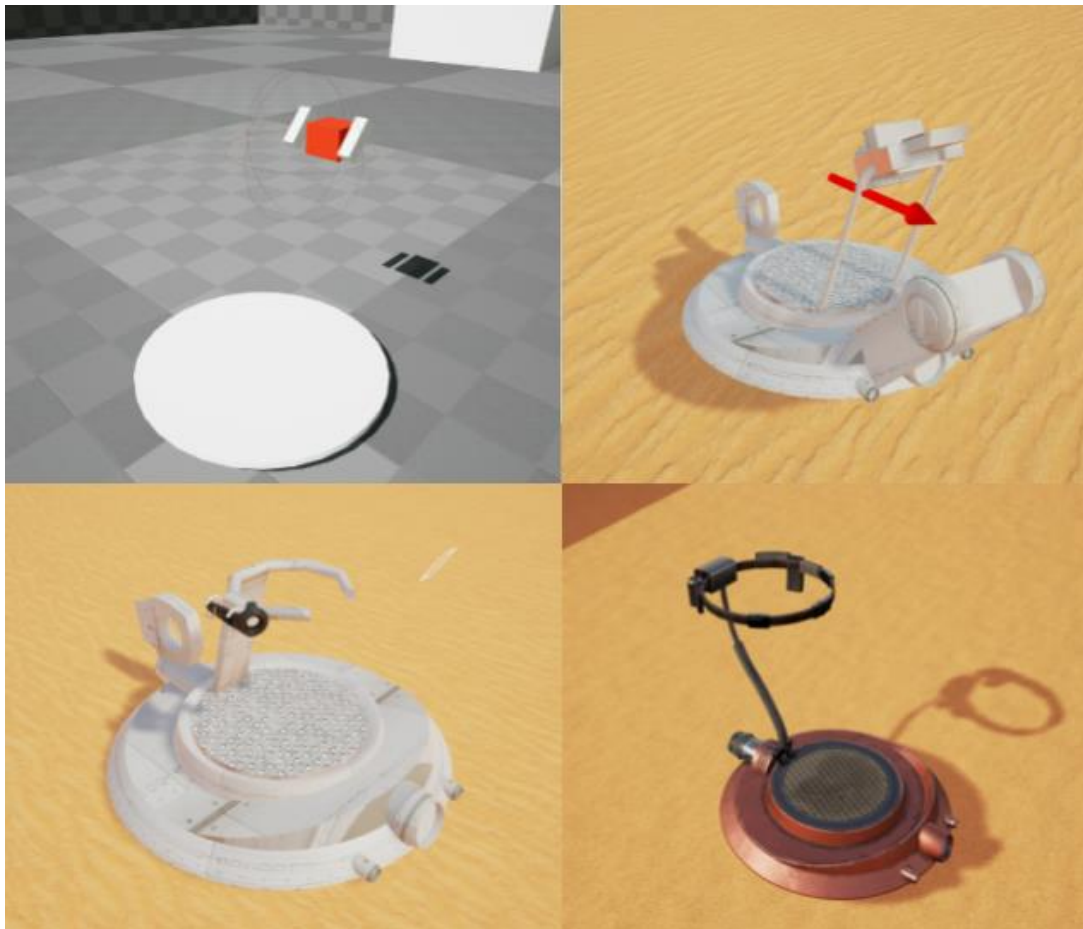


Figure 26 - Model of locomotion type 2

Drawing on the cockpit/vehicle concept referenced in chapter 2.8, a vehicle that participants could steer was developed, capable of reaching a maximum velocity of 50 km/h (the speed limit for a vehicle in residential areas).

User interaction with this vehicle is comparable to that of locomotion type 1, allowing the user to control it when standing on it, via means of a virtual controller that may be found in its interior. The interaction method is similar to that of the first type of locomotion—the direction in which the controller is pointed determines direction, while pressing the button initiates movement.

With this locomotion type, acceleration was the only parameter subject to analysis, calculated by using the following formula:

$$A (cm/s^2) = \frac{\Delta V (cm/s)}{\Delta T (s)}$$

Considering the constant velocity value envisaged, by assigning different values of time the graph below was obtained.

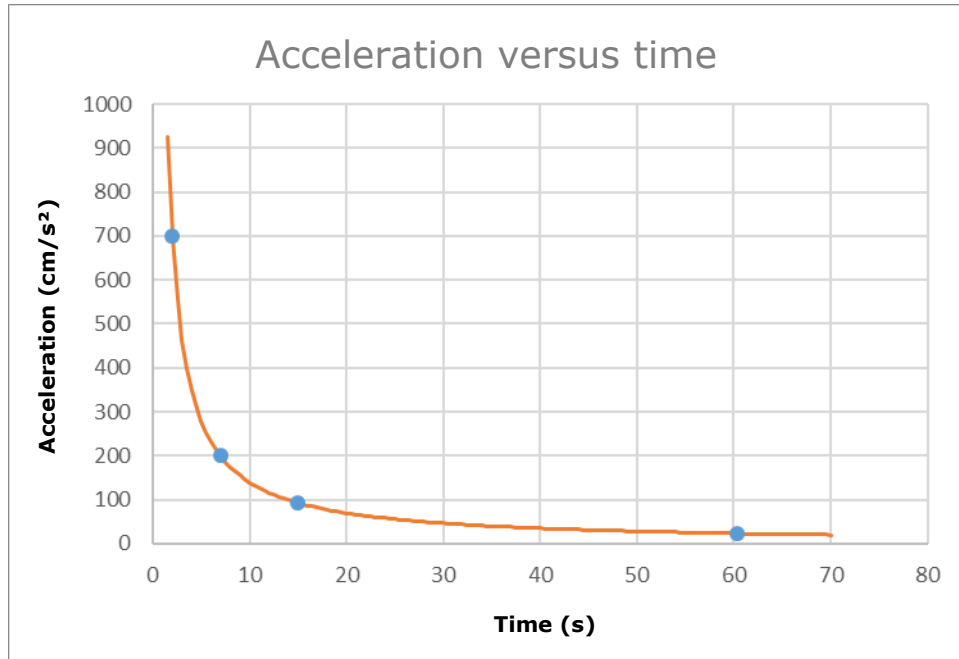


Figure 27 - Graph of acceleration versus time

Four points of acceleration may be extracted from Figure 27, two at the extremities and two close to the graph's curve.

- $V = 1389 \text{ cm/s}, T = 60.39 \text{ s}, A1 = 23 \text{ cm/s}^2$
- $V = 1389 \text{ cm/s}, T = 14.93 \text{ s}, A2 = 93 \text{ cm/s}^2$
- $V = 1389 \text{ cm/s}, T = 6.945 \text{ s}, A3 = 200 \text{ cm/s}^2$
- $V = 1389 \text{ cm/s}, T = 1.98 \text{ s}, A3 = 700 \text{ cm/s}^2$

These were the values used in the experimental tests.

Locomotion type 3

With locomotion type 3, values pertaining to the parameter of rotation were tested.

For this purpose, a model capable of simulating locomotion on an animal (giving participants the illusion of riding it) was developed.

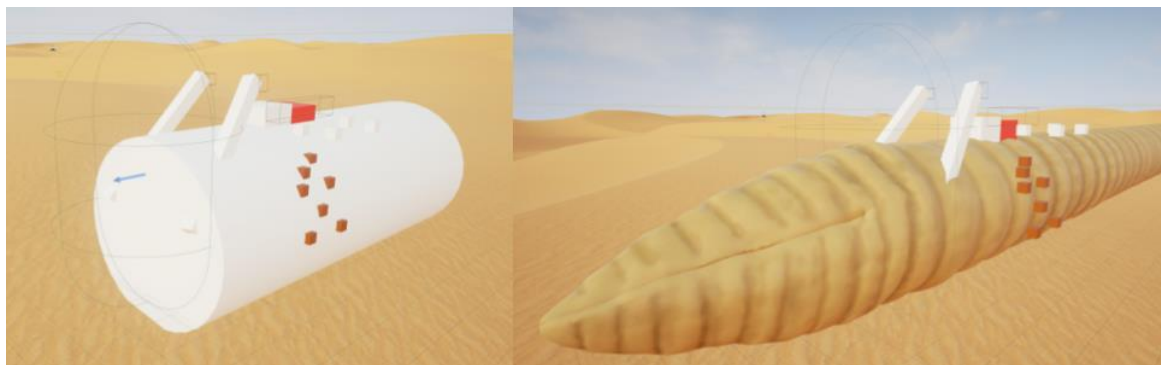


Figure 28 - Model of locomotion type 3

From the research carried out as part of the theoretical framework of the study at hand—as presented in the chapter pertaining to the state of the art (Chapter 2.5)—it was extrapolated that the parameter most likely to induce motion sickness when used in virtual games is rotation. As such, in order to reduce motion sickness when using rotation in these situations, certain precautions must be taken. Directly rotating the player in the virtual world causes disorientation and interferes with the vestibular system, a result of the ears signalling to the brain the absence of movement, while the eyes simultaneously signal the exact opposite. A form of reducing this effect is by rotating the user on a platform, as opposed to simply rotating their body. In this manner, the brain identifies the differences in movement as being more realistic, receiving kinaesthetic information (from the peripheral areas of the body) that the rotation is taking place on a platform, and not on the user's own body axis.

An area/platform of support also provides the user with a stationary reference point, in turn reducing the effects caused by rotation since the user is only able to see part of the digital world rotating.

Moreover, by creating contexts that justify rotation, the user's expectations are met and motion sickness is reduced.

On that account, the concept of Roomscale vehicle (Chapter 2.8) was used, turning the entire playable area into a large vehicle.

For this purpose, a creature (SandWorm) that participants could freely ride on its back on a scale of 1:1 was created, as may be observed in Figure 28. This enabled users to perceive locomotion as being carried out by the creature itself.

A rope system resembling reins, allowing users to experience the sensation of controlling the creature's movements (Figure 29), was also created. The ropes, which users pulled on to initiate a constant forward movement, were attached to both sides of the creature's mouth. In order to change direction, the ropes needed to be pulled to one of the sides, thus activating angular rotation.



Figure 29 - Model of rope system

The interaction was created by two ropes which when pulled on by the user got the creature moving. To begin rotating, the ropes simply had to be pulled to one of the sides.

This locomotion type was analysed via means of three tests, where velocity was kept constant and different angular rotation values were used for each test, as listed below:

- $R1 = \frac{\pi}{3} \text{rad/s} = 60^\circ/\text{s}$
- $R2 = \frac{\pi}{2} \text{rad/s} = 90^\circ/\text{s}$
- $R3 = \frac{2\pi}{3} \text{rad/s} = 120^\circ/\text{s}$

These values were arrived at through experimentation, where it was observed that by using values under $60^\circ/\text{s}$ rotation was too slow in order for movement to be felt, and where by using values over $120^\circ/\text{s}$ rotation became too hard to control, producing disorientation and nausea in users.

In this manner, the process of developing three locomotion types was finalized, having been immediately followed by the creation of a data collection system that would later allow for its analysis.

Data collection

The documents relative to informed consent as well as the Non-Disclosure Agreement (NDA) were given to participants in paper format (Annex D and E respectively). These ensured that each participant was informed of what was to take place during the experiments and that they did not reveal any information connected to the tests carried out.

In order to collect information on the tests that were performed for each locomotion type, three different questionnaires were produced:

- Personal information questionnaire;
- Preferences questionnaire;
- Simulation Sickness Questionnaire (or SSQ, as previously mentioned in subchapter 2.7 Figure 9)

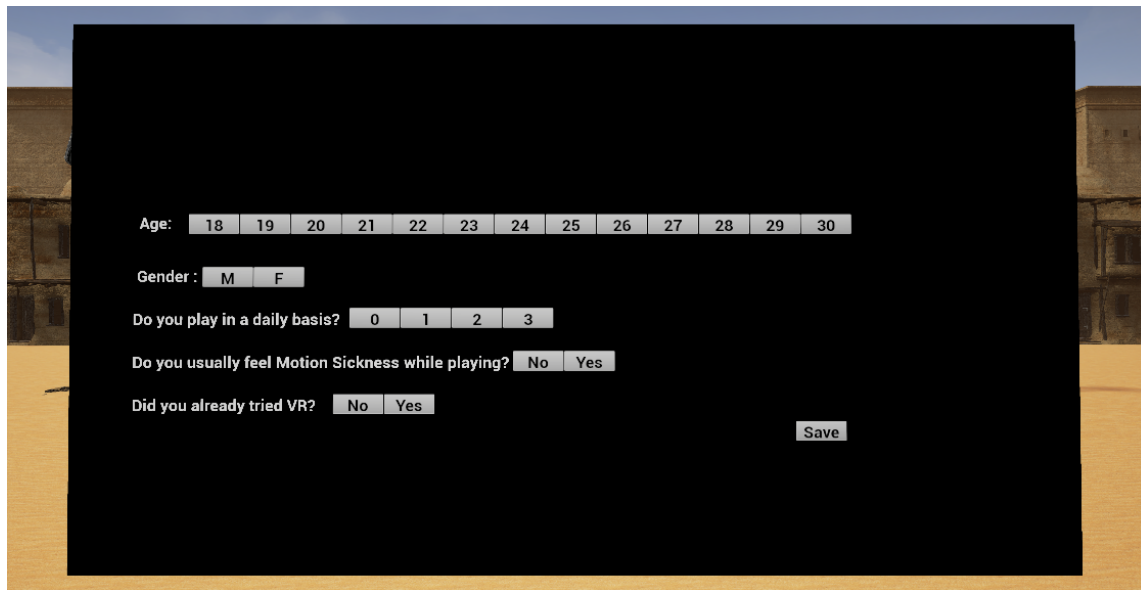
The questionnaires and the times taken to complete the course were recorded by the simulation itself. All the data was saved on a CSV file using the format outlined in Annex F.

In this manner, it was possible to collect detailed information on the effects relative to each parameter on the participants. The respective results and the analysis of these are explained in chapter 5.4.

Figure 30, Figure 31 e Figure 32 show the various questionnaires presented to participants during the simulation. The first questionnaire concerns each participant's personal information, including their age, gender, previous experience with VR, playing experience, as well as their propensity for experiencing motion sickness while playing. The data collected during this phase allowed for the characterization of participants, as well as for the

Chapter 4 – Conception and execution of experiment

comparison with data/results obtained in the Simulation Sickness Questionnaire (SSQ).

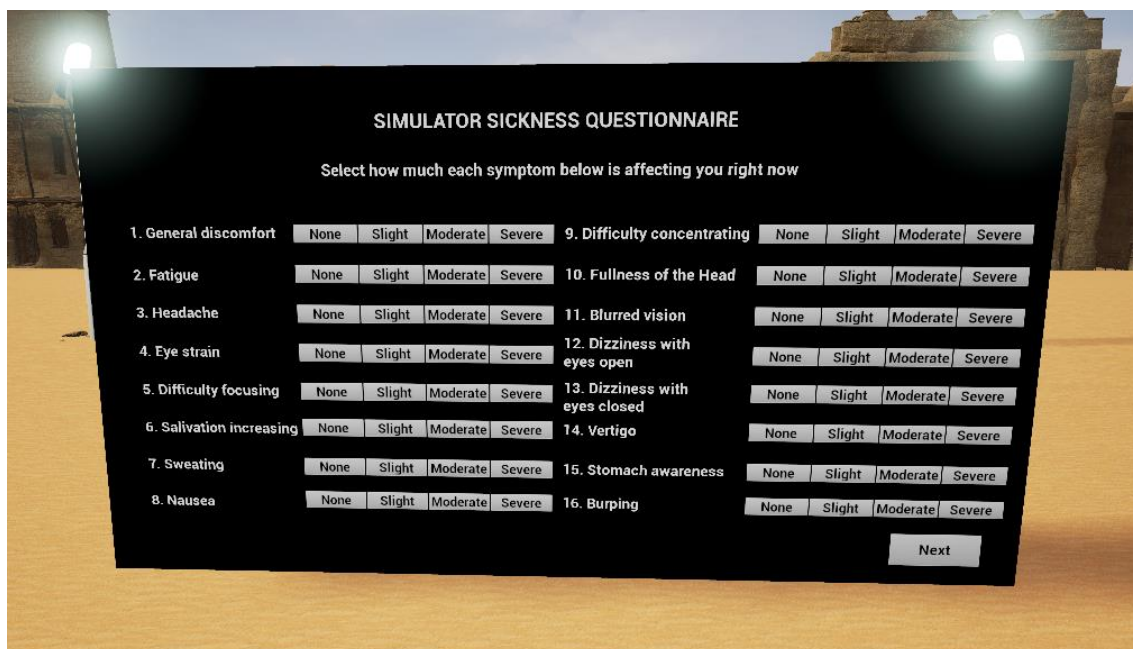


A screenshot of a personal information questionnaire interface. The background is a dark, semi-transparent panel over a virtual environment of ancient Egyptian ruins. The questionnaire contains the following fields:

- Age: A row of buttons from 18 to 30.
- Gender: Two buttons labeled 'M' and 'F'.
- Do you play in a daily basis?: A row of buttons labeled 0, 1, 2, 3.
- Do you usually feel Motion Sickness while playing?: Two buttons labeled 'No' and 'Yes'.
- Did you already tried VR?: Two buttons labeled 'No' and 'Yes'.
- A 'Save' button is located at the bottom right of the panel.

Figure 30 - Personal information questionnaire

The second questionnaire participants had to respond to was the Simulation Sickness Questionnaire (SSQ), consisting of 16 questions concerning how they felt at the end of each test.



A screenshot of the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) interface. The background is a dark, semi-transparent panel over a virtual environment of ancient Egyptian ruins. The questionnaire is titled "SIMULATOR SICKNESS QUESTIONNAIRE" and includes the instruction "Select how much each symptom below is affecting you right now".

The questionnaire consists of 16 items, each with four response options: None, Slight, Moderate, and Severe.

Item	None	Slight	Moderate	Severe
1. General discomfort				
2. Fatigue				
3. Headache				
4. Eye strain				
5. Difficulty focusing				
6. Salivation increasing				
7. Sweating				
8. Nausea				
9. Difficulty concentrating				
10. Fullness of the Head				
11. Blurred vision				
12. Dizziness with eyes open				
13. Dizziness with eyes closed				
14. Vertigo				
15. Stomach awareness				
16. Burping				

A "Next" button is located at the bottom right of the panel.

Figure 31 - Simulation Sickness Questionnaire

Lastly, each participant was presented with a preferences questionnaire at the end of each group of tests for each locomotion type.

For this prototype
Wich velocity did you preferred the most?

1 2 3

For this prototype
Wich rotation did you prefer the most?

1 2 3

For this prototype
Wich acceleration did you preferred the most?

1 2 3 4

Figure 32 - Preferences questionnaire

Task

In order to ensure the experiment's success, participants had to complete the course for all tests and answer all the SSQ items, only after doing so were they able to proceed to the following test.

Safety measure

During the experiment, participants were given the option of ending the simulation by pressing a button on the controller (Figure 33), should they feel queasy or wish to end their experience.

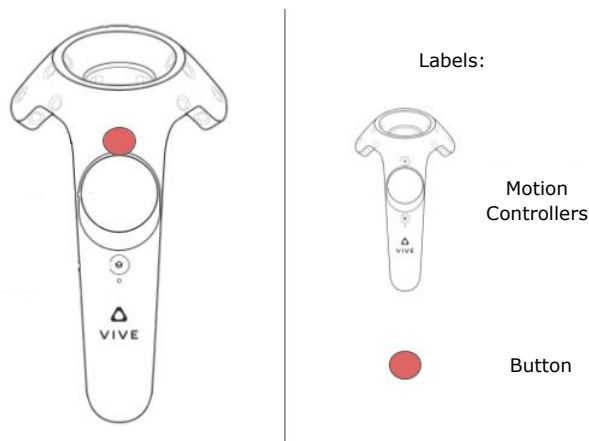


Figure 33 - Controller scheme featuring safety button

Once the button is pressed, the simulation ends. Results are then saved on the CSV file, and all unanswered items are left blank.

Execution of experiment

Having completed the experimental design, the process and set of tests that were part of the experiment shall now be described.

The experiment was made up of ten tests, grouped according to the three locomotion types created, each test having served to assess different values relative to the parameters of velocity, acceleration and rotation. Thus, locomotion type 1, consisting of three tests, assessed the parameter of velocity; locomotion type 2, consisting of four tests, assessed the parameter of acceleration; and finally, locomotion type 3, consisting of three tests, assessed the parameter of rotation.

Participants were initially presented with a personal information questionnaire, providing data relative to their age, gender, how often they play, motion sickness while playing, and previous experiences with virtual reality. The answers to these questions acted as a source of valuable information, allowing for the characterization of the target audience, in addition to enabling the verification of significant variations in levels of motion sickness and the characteristics of participants.

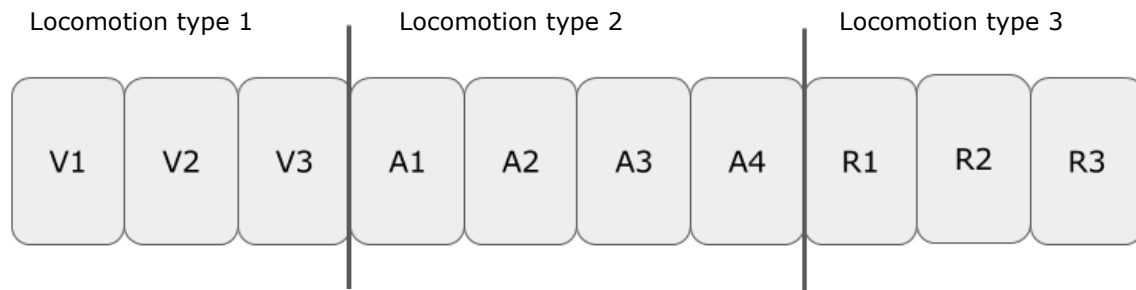
Each participant was then invited to complete the experience/test in a sequential manner, as shown in Figure 34, having done it in the following order:

- V1 – Test 1 assessed the first velocity value;
- V2 – Test 2 assessed the second velocity value;
- V3 – Test 3 assessed the third velocity value;

- A1 – Test 4 assessed the first acceleration value;
- A2 – Test 5 assessed the second acceleration value;
- A3 – Test 6 assessed the third acceleration value;
- A4 – Test 7 assessed the fourth acceleration value;
- R1 – Test 8 assessed the first rotation value;
- R2 – Test 9 assessed the second rotation value;
- R3 – Test 10 assessed the third rotation value.

At the end of each test, participants had to respond to the SSQ, in addition to the preferences questionnaire, which they had to complete after executing each locomotion type.

The set of ten tests and the answers to the questionnaires (which took about a minute each to complete) totalled an average time of twenty minutes for each participant.



Labels: Key: V - Velocity, A - Acceleration, R - Rotation

Figur3 34 - Chronological order of tests

Chapter 5.

Tests, results e analysis

Following on from the experiment's execution, this chapter seeks to present logistical issues that were taken into account, in addition to delineating how the experiment was prepared. The data collected, as well as its respective analysis, shall also be presented.

5.1. Logistics and equipment

The tests were carried out at the University of Coimbra's Department of Informatics Engineering in room E4.5, an enclosed space that prevented any external interference and gave the participants some privacy during the experiment.

The equipment used was as follows:

- 1x desktop computer;
- 1x display/monitor;
- 1x HTC Vive kit;
- 2x extension cords;
- 2x adjustable props or other form of securing the base stations at a minimum height of two metres;
- 1x headphones.

The desktop computer had the following specifications:

- Motherboard: MSI 970 Gaming;
- Processor: AMD Fx 8350 - 4.0 GHz;
- Graphics card: AMD Radeon RX 480 – 8 GB.

The non-disclosure agreement (Annex E), and the document relative to informed consent (Annex D), were also printed out and signed, signalling that all participants were aware of and in agreement with the study's conditions.

5.2. Preparation

In order to ensure that tests were successful, a dry run was initially carried out by eight volunteers from the Nest Collective community (most of whom were interns at the Department of Informatics Engineering), allowing for the observation and correction of any flaws. These volunteers were not able to participate in the experiment itself due to their previous contact with it.

The study was then publicized via the faculty’s internal e-mailing system, the students’ association mailing list, as well as social media platforms such as Facebook and Twitter, allowing the target audience and those interested in participating in the study to be easily reached.

5.3. Participants

The ideal profile of participants eligible to participate in the study was:

- Active students in the Department of Informatics Engineering;
- Between 18 and 30 years of age;
- Healthy;
- Having had no previous contact with the experiment.

The target audience was previously defined by the host company, taking into account the game which they were developing, intended for a young (up to 30 years of age), healthy and highly educated public of both genders. All these factors were taken account in the delineation of the aforementioned profile used in this study, coinciding with the characteristics of the majority of students at the University of Coimbra, particularly those connected to the Department of Informatics Engineering.

The following data was extracted from the personal information questionnaires:

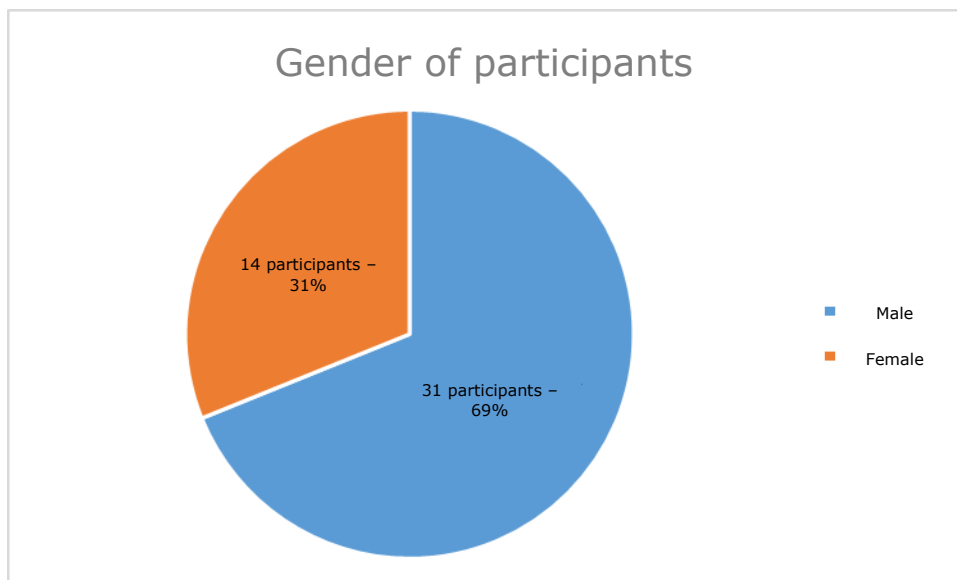


Figure 35 - Gender of participants

Figure 35 shows a total number of 45 participants, 31 of which were male and 14 which were female.

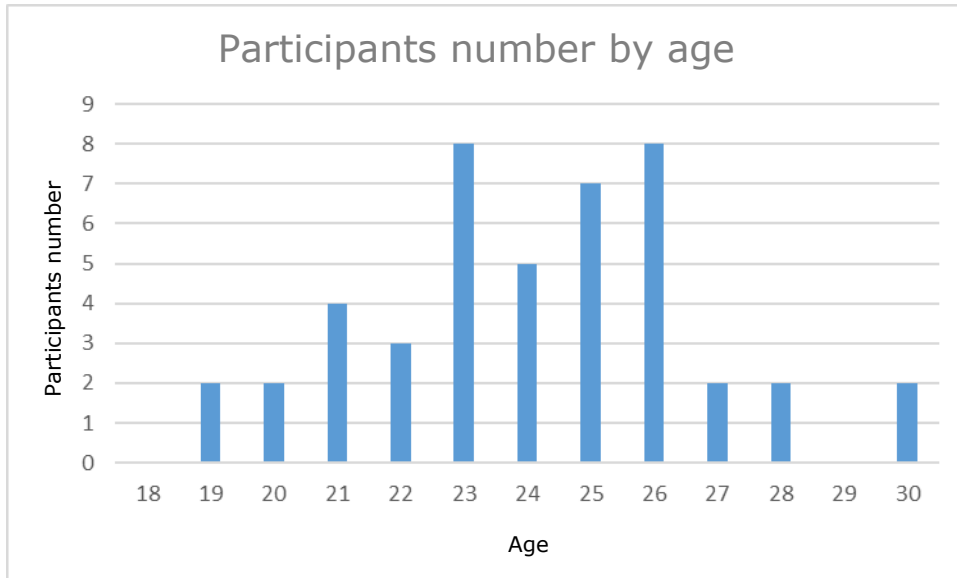


Figure 36 - Number of participants according to age

In the above graph, it may be observed that the age of participants varied between 19 and 30 years of age, the greatest number of participants having between 23 and 26 years old.

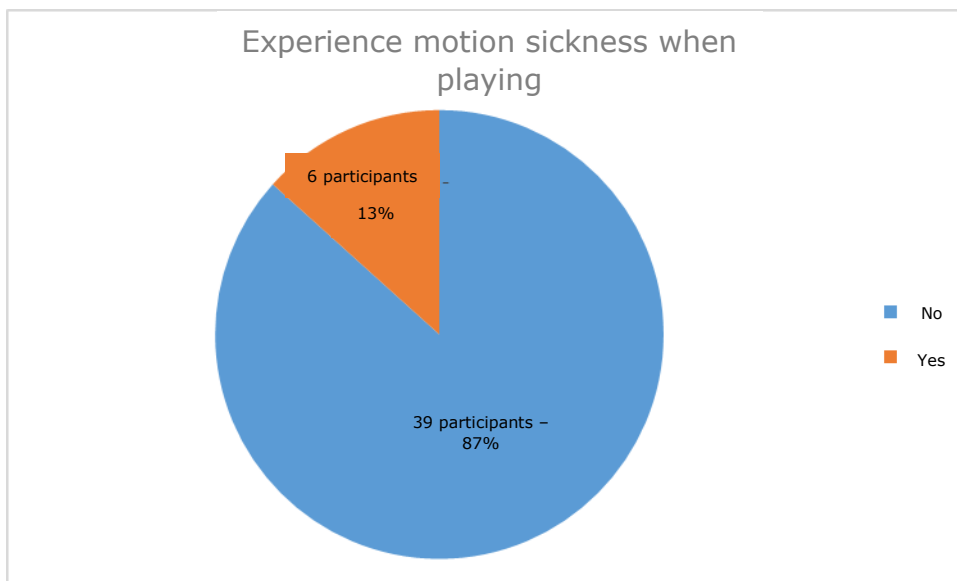


Figura 37 - Sente cinetose quando joga

In the figure above, the percentage of players that usually experience motion sickness when playing computer and console video games is shown, 13% of which refer having previously felt motion sickness in those type of situations.

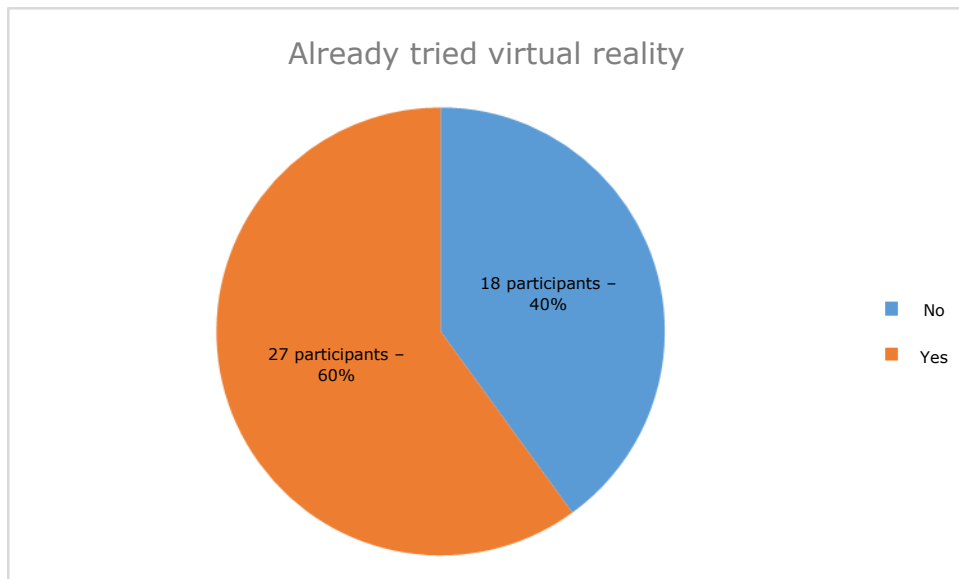


Figure 38 – Percentage of participants who had already had experience with virtual reality

In this image, it may be observed that 60% of participants had already had some form of contact with virtual reality, while 40% had never experimented with it.

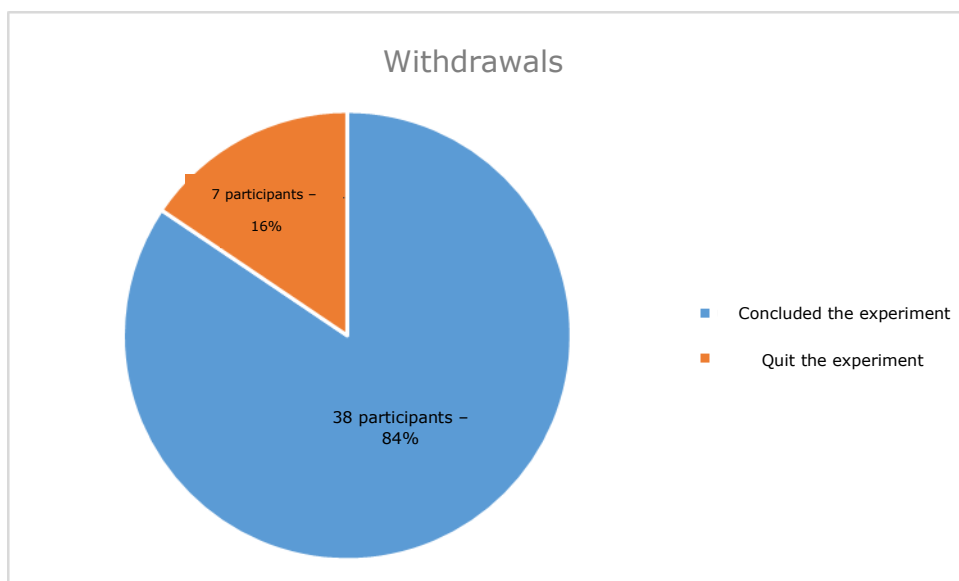


Figura 39 - Percentagem de desistências

The last figure shows the percentage of withdrawals during the experiment, 16% of participants having opted to prematurely end their experience.

All the aforementioned data are summed up in the table that follows:

Table 12 - Personal questionnaire data

	No. of participants	Percentage
Total	45	100%
Male	31	69%
Female	14	31%
Usually feels motion sickness	6	13%
Does not usually feel motion sickness	39	87%
Has previously tried VR	27	60%
Has never tried VR	18	40%
Concluded the experiment	38	84%
Quit the experiment	7	16%

All the participants reported being in good health and did not present any previous signs of indisposition, having all accepted and signed the informed consent and non-disclosure agreements (Annexes D and E respectively).

5.4. Results and analysis

In this subchapter, all the data collected shall be presented, analysed and reflected upon.

The data presented stems from participants' answers to the three questionnaires already mentioned.

In relation to the Simulation Sickness Questionnaire (SSQ), and in accordance with the explanation provided in chapter 2.7, the values of the total scores (TS) shall also be analysed. These values range from 0 to 235.62, where 0 corresponds to no symptoms and 235.62 to the maximum level of perceived symptoms.

Number of participants and withdrawals analysis

The total number of 45 participants was arrived at through the application of the Law of Large Numbers (LLN) theorem, according to which the arithmetic mean of the results tends to be close to the real value when an experiment is repeated several times. As such, by repeating an experiment a sufficient number of times, it is possible to know the probability of a natural event or a fraction of the population meeting a particular condition.

The image that follows (Figure 40) presents the line graphs illustrating the application of the Law of Large Numbers to the experiment.

Chapter 5 – Tests, results and analysis

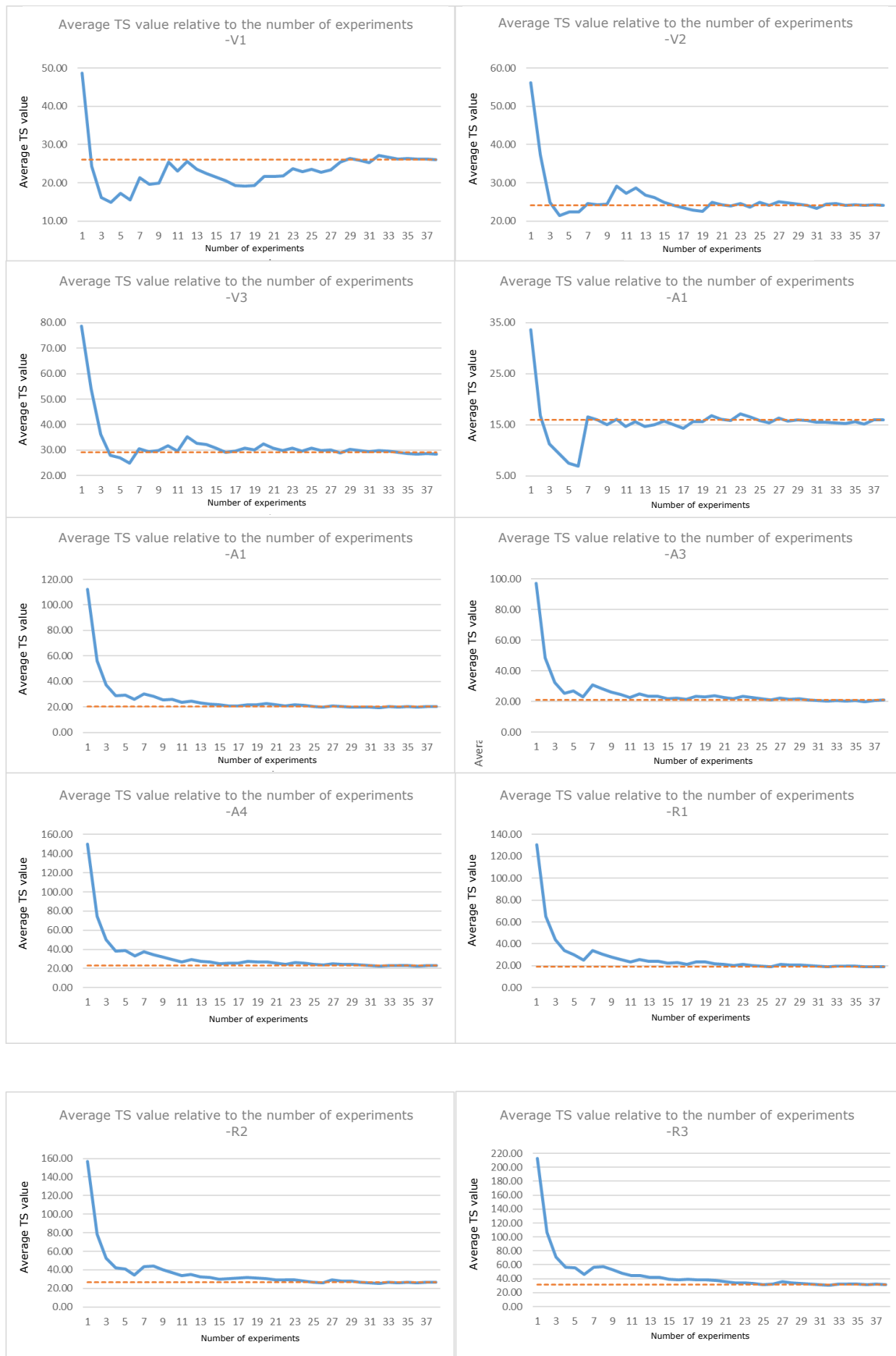


Figure 40 - Graphs of tests using the LLN

By analysing the graphs in Figure 40, it may be observed that the average TS (total score or total simulation sickness) in all tests converges towards a similar value. In graph V3, for example, the average TS converges to $\mu = 40 \pm 0.5$. The same thing may be observed in graph R1, where it converges to $\mu = 38 \pm 0.5$. All the other graphs show similar results. It was thus concluded that having more participants would not have altered the results, 45 participants having been more than sufficient for significant data analysis given the population's profile.

Lastly, 7 of the participants prematurely ended their experiment due to feeling unwell, 5 of which were female. These 7 participants make up for 16% of the total number of participants, being in accordance with the values for withdrawals—varying between 12 and 19%—in the tests carried out by Stanney and Kennedy, as discussed in chapter 2.6.

Table 13 - Table representing participants who withdrew

ID	V1	V2	V3	A1	A2	A3	A4	R1	R2	R3
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	-	-
20	✓	✓	✓	✗	-	-	-	-	-	-
28	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	-
31	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
37	✓	✓	✗	-	-	-	-	-	-	-
39	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
42	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	-

In the above table, ✓ indicates that the participant concluded that particular test, ✗ the test during which they withdrew from the experiment, and - that the participant did not carry out that test. By analysing the table, it may be noted that the largest number of withdrawals occurred with locomotion type 3, where the parameter of rotation was manipulated. Only 2 of the 7 withdrawals took place during tests for the other two parameters.

It may thus be concluded, in virtue of this sample, that rotation is the parameter that produces the most discomfort.

Since these participants did not provide complete data relative to the experiment, it was decided that they would not be included in the analysis of TS values. Moreover, including them would have created a discrepancy in results, given that the number of participants for each test would not have been equal. Nonetheless, these participants who withdrew will be taken into account in the final considerations.

Analysis relative to gender

The influence of participants' gender on TS values, as well as the underlying causes behind any differences between the two, were also analysed.

Chapter 5 – Tests, results and analysis

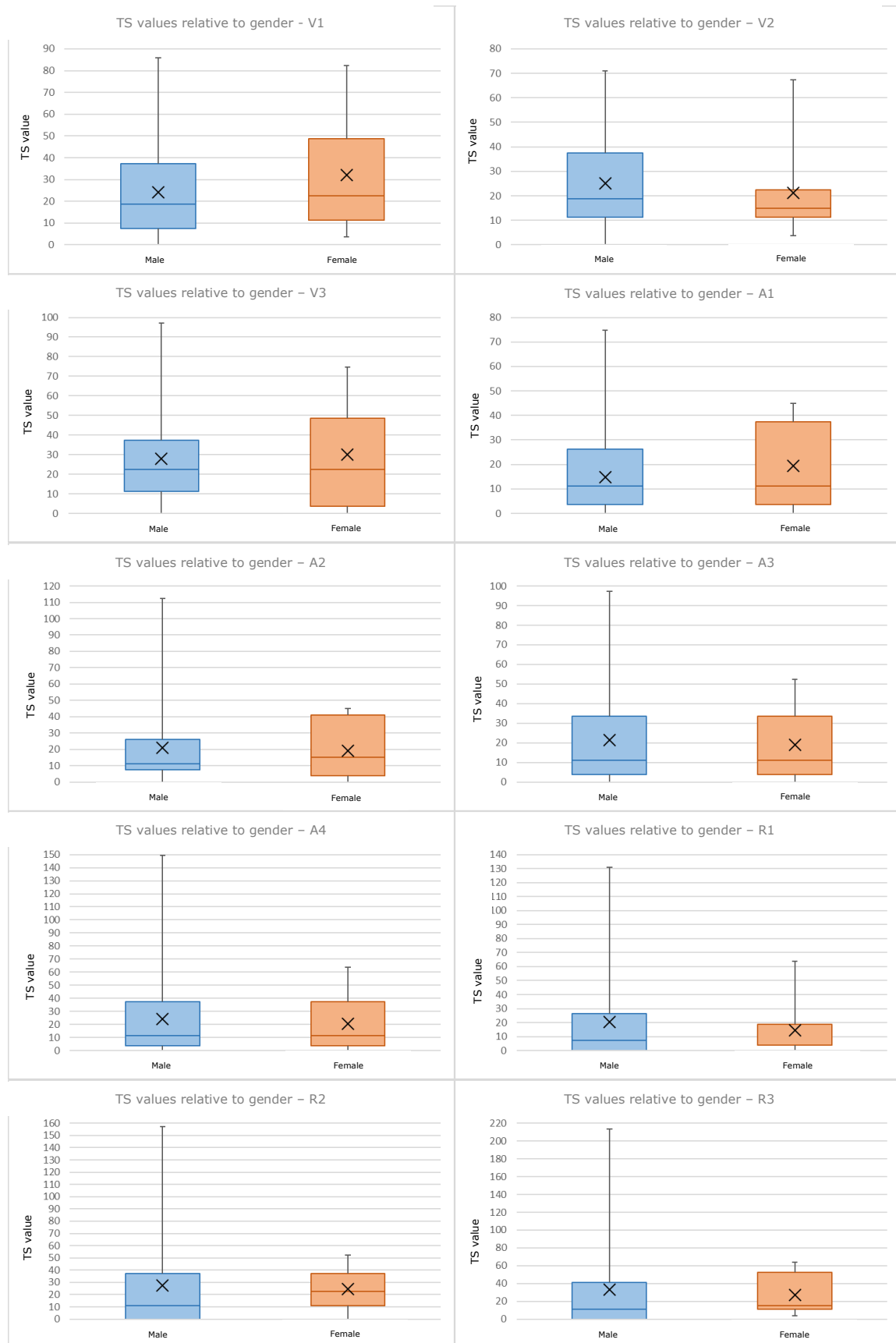


Figure 41 - Graphs of TS values relative to gender

By analysing the above graphs, it may be seen that the **median** (50% of the sample) TS values for both male and female participants were mostly equivalent in the majority of tests.

In graphs V1, V2 and V3, 75% of the male sample (third quartile) presented the same TS values ($\mu = 37.4$), while the female sample revealed a lower value in graph V2 in relation to the other two (with a difference of 26 TS points).

In graphs V1, V3, A1 and A2, it may be equally observed that female participants presented a greater standard deviation than their male counterparts. In tests A3 and A4 this value evened out. Finally, in the graphs relative to rotation, female participants revealed a much smaller standard deviation than male participants.

Considering all tests, although the mean TS value for both genders was identical, male participants presented more extreme values, but a small standard deviation. Thus, even though female participants showed more disperse values within a smaller interval, male participants revealed a larger interval of values, but which were more constant.

Conclusively, it may be inferred that in the tests relative to velocity, velocity 2 proved to be the best velocity value, revealing the smallest standard deviation in female participants, and presenting no significant differences in male participants' results. Relative to acceleration, both A3 and A4 produced similar results in both genders. Finally, concerning the parameter of rotation, R1 resulted in the lowest and most approximate values for both genders.

Analysis pertaining to prior symptoms of motion sickness

An analysis of any potential marked differences between the total scores of participants who reported having previously experienced symptoms of motion sickness in other situations (playing regular computer or console games), and of those who had not, was also carried out.

Chapter 5 – Tests, results and analysis

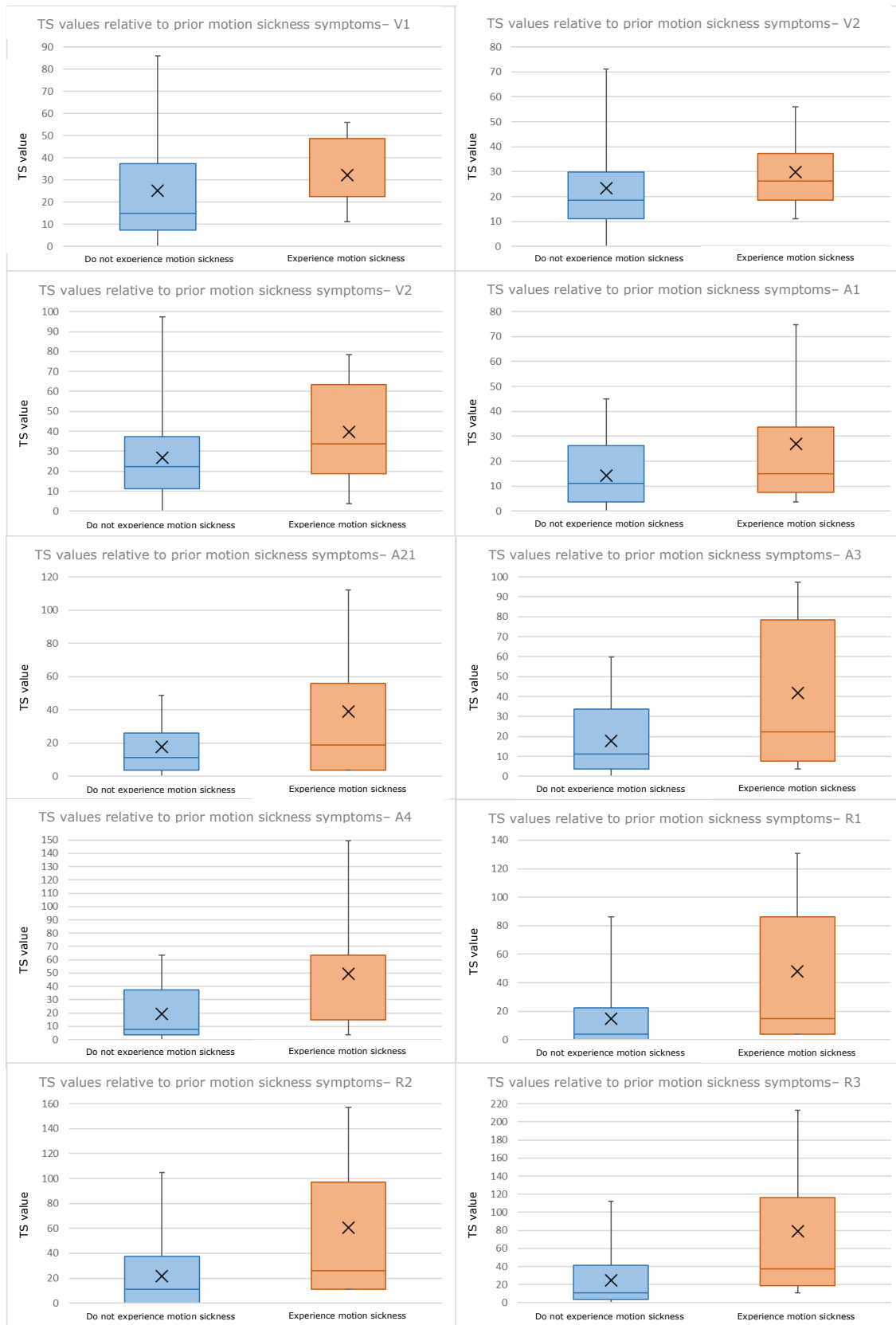


Figure 42 - Graphs of TS values relative to prior motion sickness symptoms

In general terms, it may be observed that there was a large difference between participants who did not usually experience motion sickness and those who did. In graph A3, for example, in both the first and second quartiles (25% and 50% of the sample respectively) there was a difference of 10 TS points. In the third quartile (75% of the sample), this difference rose to 45 TS points, a considerable variation. All the other graphs evinced the same sort of behaviour.

As such, it may be deduced that users who had previously experienced motion sickness symptoms in other situations, revealed a hypersensitivity to virtual environments, demonstrating a greater standard deviation in all tests in relation to other participants.

Analysis relative to age

Differences in TS values between participants from different age groups were also analysed, as may be observed in the graphs that follow:

Chapter 5 – Tests, results and analysis

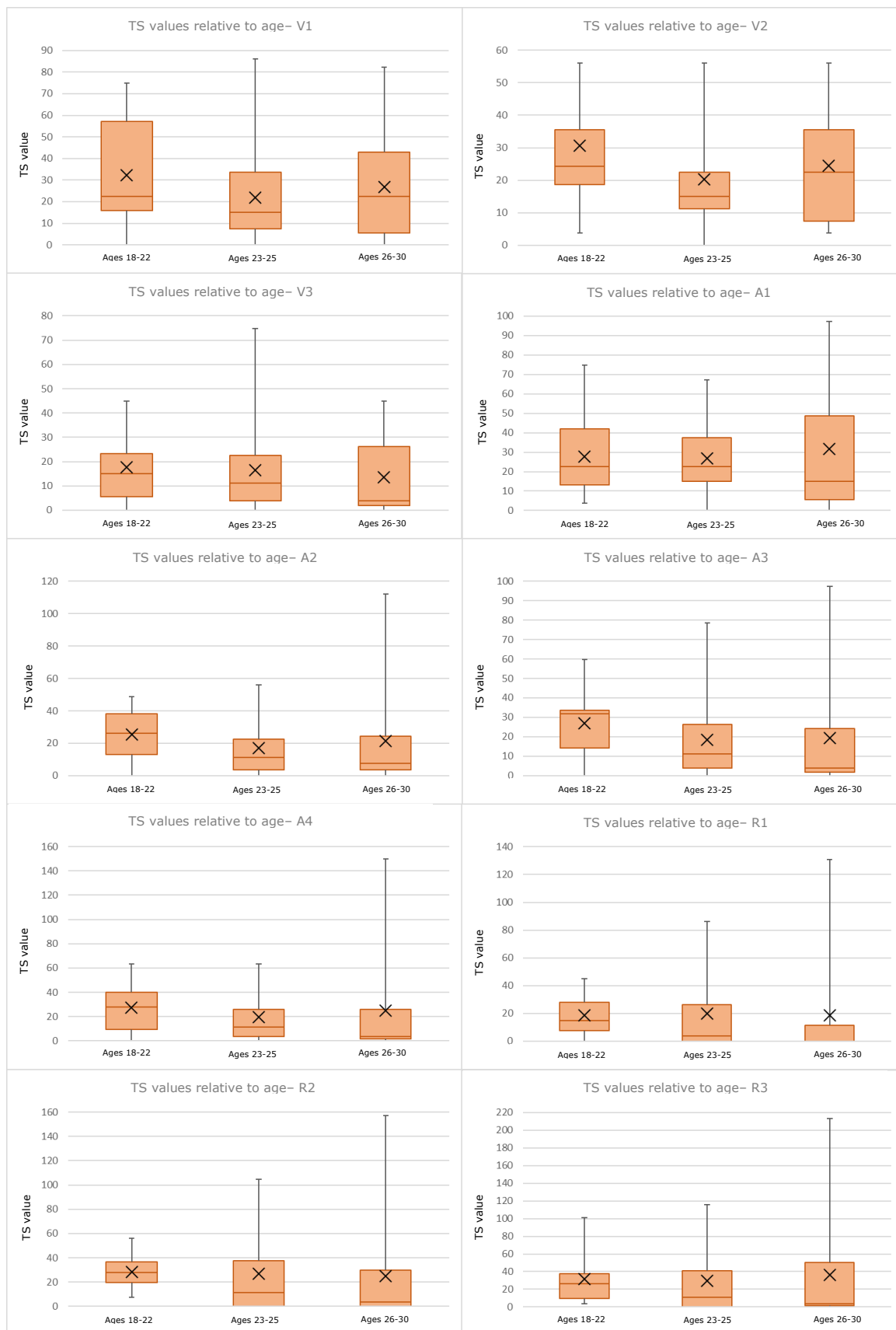


Figure 43 - Graphs of TS values relative to age

It may be observed from the graphs in Figure 43, that the velocity values for participants between the ages of 23 and 25 were more extreme than for other age groups. However, in the tests relative to acceleration and rotation, more extreme values were observed amongst older participants (aged between 26 and 30).

In the majority of tests, 75% of the sample respectively, the various age groups presented TS values that were either very similar, or with a minimal difference of ± 10 total score points.

Given these results, it may be concluded that there is no significant correlation between levels of motion sickness and the different age groups involved in the study. Although there were some differences in values for each of the groups, these were not markedly significant.

Analysis relative to prior experience with VR

A causal link between symptoms of motion sickness (and resultant TS values), and prior experience with VR, was also sought out.

Chapter 5 – Tests, results and analysis

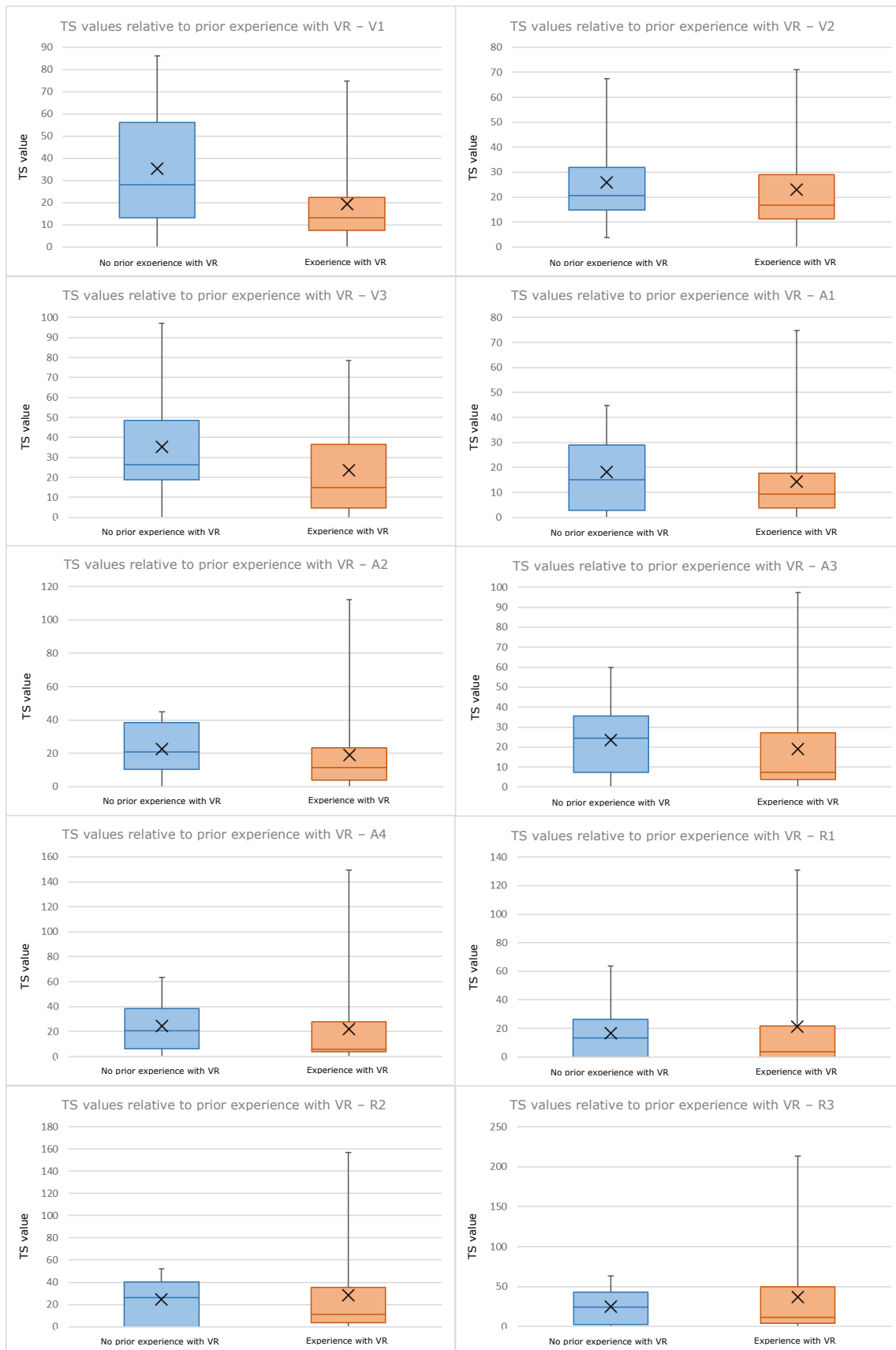


Figure 44 - Graphs of TS values relative to prior experience with VR

By examining Figure 44, it may be observed that in the first test there was a considerable discrepancy between the results of those who had previously experimented with VR versus those who had not. However, as further tests were carried out, values tended to even out.

In test A1 specifically, 50% of the sample of those who had no prior experience with VR obtained a value of $TS = 28$, while 75% of the sample of those who had previously tried VR obtained a value of $TS = 22.44$, evincing a significant discrepancy between the two groups.

Furthermore, by analysing the results pertaining to the last test (R3), 75% of participants from both groups obtained values of $TS = 43$ and $TS = 49$ respectively, revealing that results tended to converge.

It was thus concluded that participants who had never tried VR generally revealed some hypersensitivity, initially experiencing it as being slightly odd and uncomfortable. However, the longer they were immersed in the **VR** world, the more accustomed they became to that environment, tending towards the same values as those of participants with prior VR experience.

Final analysis

In the section that follows, results relative to the various parameters are presented independently, allowing for the assessment as to which produce the least overall discomfort.

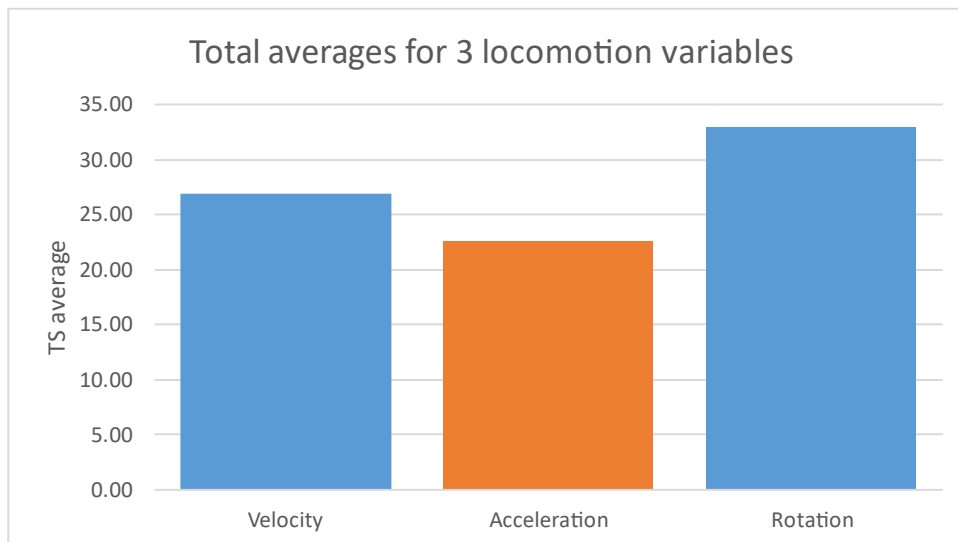


Figure 45 - Graph of total averages for 3 locomotion variables

In the preceding graph, the average values for the three parameters examined (velocity, acceleration and rotation) are shown. On average, locomotion type 2 (relative to the parameter of acceleration), presented smaller TS values, thus being the locomotion type that overall produced the least motion sickness

symptoms amongst participants ($TS = 22.55$). Locomotion type 1 (relative to the parameter of velocity), produced an average TS value of 26.95. Finally, the locomotion type that produced the highest TS values, averaging 32.8, was locomotion type 3 (relative to the parameter of rotation), causing the greatest discomfort and contributing to the largest number of participant withdrawals.

Thus, it may be concluded that rotation is the parameter most liable to cause motion sickness, whereas acceleration is the parameter least likely to do so.

Following an overall analysis of each parameter (velocity, rotation and acceleration), the average TS results for each test shall now be presented.

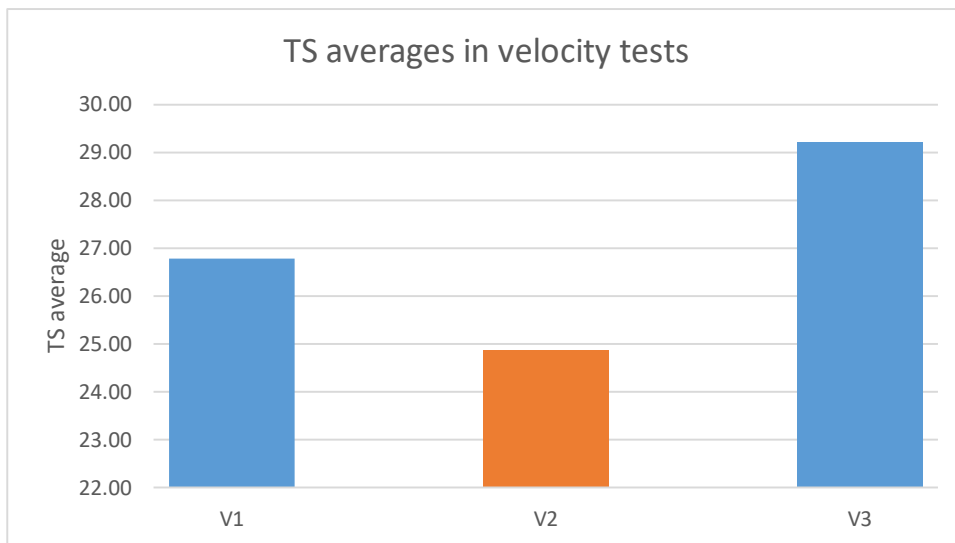


Figure 46 - Graph of TS averages in velocity tests

The data obtained in the tests relative to locomotion type 1, which were centred on the parameter of velocity, may be seen in the above graph. Here it may be observed that velocity 2 produced the least motion sickness, producing an average value of $TS = 24.87$. and revealing a ± 2 point difference from test 1 and ± 4 points from test 3.

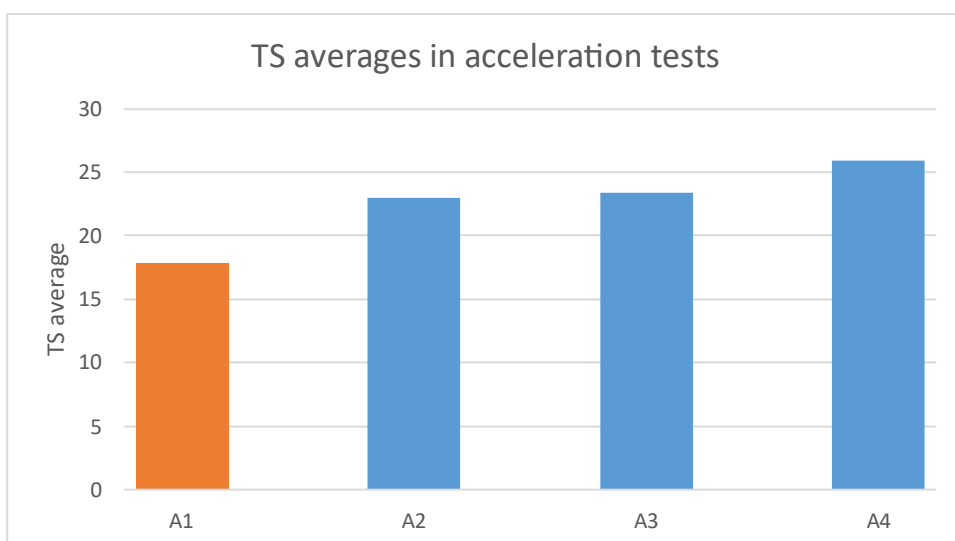


Figure 47 - Graph of TS averages in acceleration tests

The graph shown in Figure 47 portrays the data obtained in the tests carried out for locomotion type 2, relative to acceleration. It may be observed that the first acceleration test caused the least motion sickness, averaging $TS = 17.82$. In the second acceleration test, the average was $TS = 22.99$, and in the third test, $TS = 23.43$. Lastly, the highest TS values attained were in the fourth acceleration test, averaging $TS = 25.96$ (where the acceleration value used was 700cm/s^2 , compared to an acceleration value of 23 cm/s^2 in the first test).

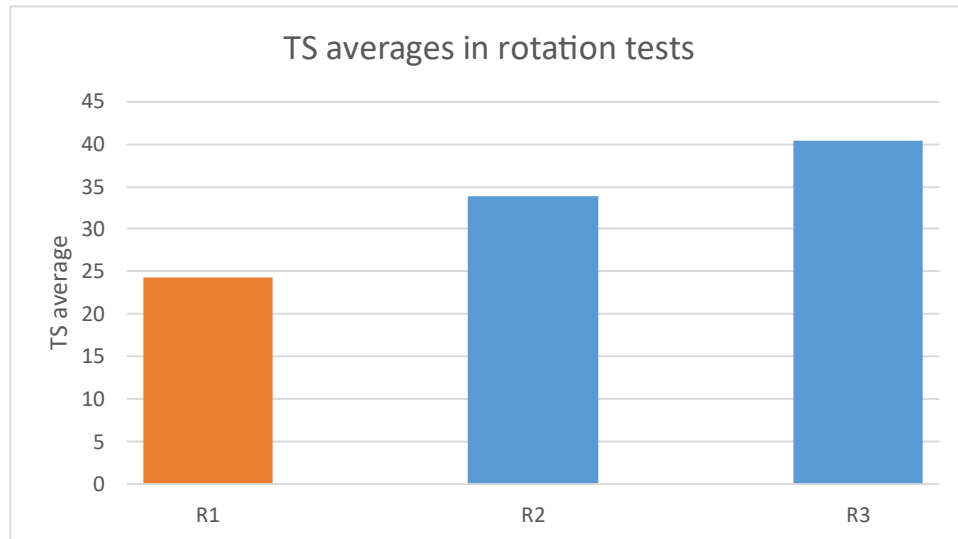


Figure 48 - Graph of TS averages in rotation tests

In the image above, a graphic representation of the data obtained in the tests carried out for locomotion type 3, relative to rotation, may be observed. The first rotation test caused the least motion sickness, with an average $TS = 24.31$, a ± 10 point difference from the second rotation test, and ± 16 points from the last rotation test.

Considering all the conclusions drawn from the various tests, it may be affirmed that the values which caused the least motion sickness for each of the parameters were as follows: V2 (which corresponded to a walking velocity of 8 km/h); A1 (which corresponded to an acceleration of 23 cm/s^2); and R1 (which corresponded to an angular rotation of $60^\circ/\text{s}$).

In addition to the preceding conclusion, it is also pertinent to carry out a comparative analysis between the aforementioned results and the preferences indicated by users in the respective questionnaires filled out at the end of each locomotion type test.

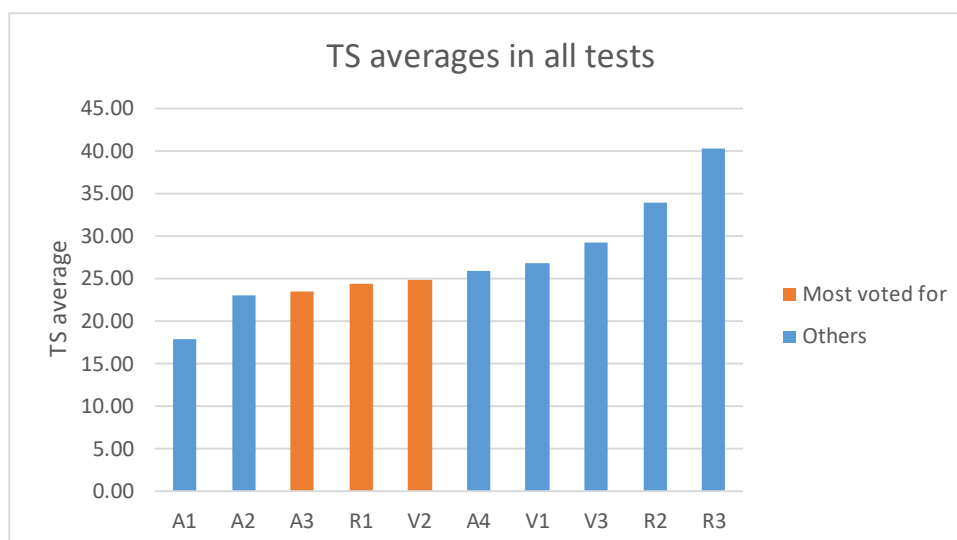


Figure 49 - Graph of TS averages in all tests

In the above graph, the average TS values for each test are shown, displayed accordingly in ascending order. In addition, three orange columns are also shown, representing the preferences indicated by participants in the “preferences questionnaire”. Thus, it may be noted, that the tests most voted for (and hence, preferred) were V2, A3 and R1.

With regard to tests V2 and R1 (the velocity and rotation parameters with the greatest comfort levels), both users’ preferences and conclusions drawn from the data seem to be in agreement. In contrast, participants’ overall preference for test A3 (third acceleration test), does not coincide with that which was expected considering the data pertaining to acceleration, going against an expected preference for test A1 (most comfortable), instead of A3.

It may be seen that users’ preferences fell upon tests where the average TS values were between 23 and 25, which are very approximate values, thus indicating motion sickness symptoms of a similar degree.

Even though the most logical preference relative to the parameter of acceleration (A) would have been test A1 (since it presents the lowest TS value), this in fact did not occur. According to participants, the latter lacked realism, was too slow and not very stimulating, which would explain this discrepancy. In the tests relative to velocity and rotation, the preferred options were those that produced values indicative of greater comfort. However, in tests relative to acceleration, participants opted for the test that produced some instability and an increased sense of realism.

Chapter 6. Conclusion e future work

In the elaboration of this dissertation, research on relevant bibliography was carried out, serving as a solid theoretical framework on virtual reality (**VR**), which in turn allowed for the delineation of its definition, contextualization, historical evolution and applications over time. It equally served to identify the currently available devices/equipment and their respective specifications. Moreover, various interaction techniques commonly used in virtual reality were identified, in addition to their respective negative effects on users, which were measured experimentally using quantitative methods.

All the objectives described in chapter 1.2 were met and are described throughout this document, the main objective having been to analyse the levels of motion sickness produced due to locomotion in virtual environments.

For this purpose, a virtual setting and three digital forms of testing three different locomotion types were set up. Each of the latter corresponded to a specific parameter, expressly: velocity, acceleration and rotation—identified as the main causes of motion sickness brought on by locomotion in a virtual environment. In addition, questionnaires used to collect data were created and subsequently analysed.

As a means of controlling results, in addition to anticipating and mitigating potential risks which could have jeopardized the experiment's execution, careful planning was carried out, taking into account logistics, means of promotion, the experiment's venue and the carrying out of preliminary tests in order to identify underlying flaws.

The experimental study relied on real-time answers by volunteers selected from the target audience, who carried out the various tests in the experiment as requested. Using the Law of Large Numbers, a number of 45 participants was arrived at as a sufficient amount for a statistically significant sample.

After analysing and reflecting upon the data, a set of recommendations that should be taken into consideration (and which will be used by the host company) in future **VR** applications and games was elaborated):

- i. The best value for velocity, simulating walking, is 8 km/h** – As may be observed in Figure 46, out of the three velocity values, the second was the one which produced the least motion sickness, in addition to being the preferred value by participants. In order to simulate walking, 8 km/h was considered to be neither too slow (and thus boring), nor too fast (consequently inducing symptoms of motion sickness).
- ii. The best value for acceleration, simulating a vehicle, is 200 cm/s², allowing for a velocity of 50 km/h to be attained** – Virtual reality should meet the user's expectations and provide situations that provoke some emotion, making the experience thrilling and motivating. However, the value that produces the least discomfort (23 cm/s²), is not always necessarily the best. As may be seen from Figure 49, users' choices fell upon tests where the average TS values varied between 23 and 25. As such, the value of 200 cm/s² is recommended, given that it was chosen as the ideal value by the majority of users.
- iii. The best value for angular rotation is 60°/s** – Rotation proved to be the parameter that needs to be manipulated with greatest care, since it was during tests relative to rotation that the highest number of participants withdrew and the highest levels of motion sickness were experienced. In order to reduce motion sickness symptoms, the use of a supporting area or platform that serves as a base for the user during their VR experience is advised, so that it is not the user's body itself that is rotated, but rather, the base that they stand on. An angular rotation of 60°/s produced the lowest levels of motion sickness in participants, thus presenting itself as the ideal value.
- iv. Movements that use acceleration/deceleration to initiate/cease movement cause less motion sickness** – This recommendation is backed by the comparative analysis of the three parameters investigated. On average, the parameter of acceleration presented lower motion sickness levels than the other parameters, with greater acceleration values having been those preferred by users. This preference is most likely due to a need for both comfort and a sense of challenge/danger during the experience, in turn making it more enticing for participants.

- v. There are differences between genders** – When developing a **VR** application, it should be taken into account that female users present a greater standard deviation relative to motion sickness symptoms, as was observed from the greater number of participants affected, or who withdrew, when exposed to the various locomotion variables during this study. In order to ensure greater comfort in future applications, testing during their developmental phase involving participants of both genders is advised, until similar results between both genders are attained. Moreover, the aforementioned values (8 km/h for walking, 200 cm/s² for acceleration and 60°/s for rotation) are recommended, considering the lack of significant differences between genders demonstrated during this experimental study.
- vi. Users who have previously experienced motion sickness symptoms (in other environments) experience these same symptoms equally or more severely when using virtual reality** – From the data collected in this experimental study, a significant reduction of motion sickness symptoms only occurred with locomotion type 1 (velocity), in which a velocity of 8km/h was used. All other locomotion types produced high levels of motion sickness in participants, thus far there being no ensured ways or substantial indications of how to reduce/solve this problem.
- vii. There are no significant differences in the levels of motion sickness experienced in the 18-30 age group** – In this experiment's target group, no significant differences in motion sickness symptoms related to chronological age were observed.
- viii. People with no previous VR experience initially present some hypersensitivity** – Participants who had never been exposed to **VR** environments presented higher motion sickness values during the initial moments of testing. However, these symptoms began to gradually reduce throughout the experience, as seen in the similarity of values between all participants towards the end of tests. As such, with future applications, participants should be asked before initiating an experience whether or not it is their first time, and if so, be placed into a calmer environment, initiating movements more slowly in order to gradually accustom themselves and not experience motion sickness. Those with previous VR experience may start off from more advanced phases of the application, being able to immediately use the various types of locomotion available.

Through this study, it was possible to significantly contribute to the construction and development of future **VR** games, applications and experiences. The results obtained helped to improve users' comfort and to diminish undesirable symptoms, making virtual reality and all its applications more accessible, as was initially intended.

References

- [1] T. Parisi, *Learning Virtual Reality*. O'Reilly Media, Inc., 2015.
- [2] K. Hillis, *Digital Sensations*. University of Minnesota Press, 1999.
- [3] P. Fuchs, P. Guitton, and G. Moreau, *Virtual reality: concepts and technologies*. CRC Press, 2011.
- [4] "How did virtual reality begin?," *Virtual Reality Society*. [Online]. Available: <http://www.vrs.org.uk/virtual-reality/beginning.html>. [Accessed: 10-Oct-2016].
- [5] "History Of Virtual Reality," *Virtual Reality Society*. [Online]. Available: <http://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>. [Accessed: 10-Oct-2016].
- [6] "Mozilla VR - WebVR tools," *Uploadvr.com*. [Online]. Available: <https://mozvr.com/>. [Accessed: 02-Jan-2017].
- [7] J. D. Westwood *et al.*, Eds., *Medicine Meets Virtual Reality 20*. IOS Press, 2013.
- [8] B. Laurel, *Computers as Theatres*. Pearson Education (US), 2013.
- [9] B. Laurel, "What is Virtual Reality," *medium.com*, 2015. [Online]. Available: <https://medium.com/@blaurel/what-is-virtual-reality-77b876d829ba#.rolpg17q2>. [Accessed: 10-Oct-2016].
- [10] A. Hunter, "Get started with VR: user experience design," 2016. [Online]. Available: <https://medium.com/vrinflux-dot-com/get-started-with-vr-user-experience-design-974486cf9d18#.2b3mmesci>. [Accessed: 10-Oct-2016].
- [11] "Spec Comparison: Does the Rift's Touch update make it a true Vive competitor?," *Digitaltrends.com*, 2016. [Online]. Available: <http://www.digitaltrends.com/virtual-reality/oculus-rift-vs-htc-vive/>. [Accessed: 19-Nov-2016].
- [12] D. Jagneaux, "HTC Vive vs. Oculus Rift With Touch – Which Is The Better Roomscale Experience?" [Online]. Available: <http://uploadvr.com/vive-vs-oculus-rift-touch-roomscale/>.
- [13] N. Pino, "PlayStation VR review," *techradar.com*, 2017. [Online]. Available: <http://www.techradar.com/reviews/gaming/playstation-vr-1235379/review>. [Accessed: 19-Nov-2016].
- [14] P. Lamkin, "Sony PlayStation VR: Essential guide to the hardware, games, release and more," *wareable.com*, 2016. [Online]. Available: <https://www.wareable.com/project-morpheus/sony-project-morpheus-release-date-price-games>. [Accessed: 20-Jan-2017].
- [15] "Google Cardboard." [Online]. Available: <https://vr.google.com/cardboard/>. [Accessed: 20-Jan-2017].

- [16] E. Spence, "Google Pixel's Successful Start," *forbes.com*, 2016. [Online]. Available: <http://www.forbes.com/sites/ewanspence/2016/11/29/google-pixel-xl-2016-sales/#424f3cde29bf>. [Accessed: 21-Dec-2016].
- [17] "Huawei's Mate 9 Pro is Daydream-compatible, Future Phones to Include Tango." [Online]. Available: <http://www.roadtovr.com/huaweis-mate-9-pro-daydream-compatible-future-phones-include-tango-support/>. [Accessed: 06-Jan-2017].
- [18] T. Sweeney, "If You Love Something, Set It Free," *UnrealEngine*. [Online]. Available: <https://www.unrealengine.com/blog/ue4-is-free>. [Accessed: 22-Nov-2016].
- [19] "Blueprints Technical Guide," *UnrealEngine*. [Online]. Available: <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Engine/Blueprints/TechnicalGuide/index.html>. [Accessed: 20-Dec-2016].
- [20] "Blueprint vs C++ performance," *UnrealEngine*. [Online]. Available: <https://forums.unrealengine.com/showthread.php?3791-Blueprint-vs-C-performance>. [Accessed: 21-Jan-2017].
- [21] "Unity 5.1," *Unity3D*. [Online]. Available: <https://unity3d.com/pt/unity/whats-new/unity-5.1>. [Accessed: 21-Dec-2016].
- [22] "CryEngine - Features," *Crytek*. [Online]. Available: <https://www.cryengine.com/features>. [Accessed: 19-Jan-2017].
- [23] "CryEngine - VR - Oculus Rift," *Crytek*. [Online]. Available: <http://docs.cryengine.com/display/SDKDOC4/VR+-+Oculus+Rift>. [Accessed: 19-Jan-2017].
- [24] J. Schreier, "Crytek's Video Game Engine Is Now Free," *Kotaku.com*, 2016. [Online]. Available: <http://kotaku.com/cryteks-video-game-engine-is-now-free-1765078659>. [Accessed: 19-Jan-2017].
- [25] J. Schreier, "Sources: Amazon Spent Big Bucks On Crytek's Engine," *Kotaku.com*. [Online]. Available: <http://kotaku.com/sources-amazon-spent-big-bucks-on-cryteks-engine-1696008878>. [Accessed: 19-Jan-2017].
- [26] A. Neltz, "Amazon Releases Its Own Game Engine For Free," *Kotaku.com*, 2016. [Online]. Available: <http://kotaku.com/amazon-releases-its-own-game-engine-for-free-1757995787>. [Accessed: 19-Jan-2017].
- [27] M. Nabioyuni and D. A. Bowman, "An Evaluation of the Effects of Hyper-natural Components of Interaction Fidelity on Locomotion Performance in Virtual Reality," *Proc. 25th Int. Conf. Artif. Real. Telexistence 20th Eurographics Symp. Virtual Environ.*, pp. 167–174, 2015.
- [28] D. P. Pinheiro, "Cinetose – Enjoo de movimento," *mdsaude.com*, 2016. [Online]. Available: <http://www.mdsaude.com/2010/10/cinetose-enjoo-movimento.html>. [Accessed: 03-Jan-2017].

- [29] E. M. Kolasinski, "Simulator Sickness in Virtual Environments," *United States Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences*, vol. 1027, no. 4. U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, p. 68, 1995.
- [30] "Introduction to Best Practices," *Oculus V.R.* [Online]. Available: https://developer3.oculus.com/documentation/intro-vr/latest/concepts/bp_intro/. [Accessed: 12-Dec-2017].
- [31] J. M. Drexler, "Identification of system design features that affect sickness in virtual environments," *ProQuest Diss. Theses*, p. n/a, 2006.
- [32] S. Watts, "How We Achieved <1% VR Motion Sickness," *medium.com*. [Online]. Available: https://medium.com/@vr_sam/how-we-achieved-1-vr-motion-sickness-9e0d555ee779#.vgn1cqun9. [Accessed: 20-Oct-2016].
- [33] W. Mason, "Five ways to reduce motion sickness in VR," *Uploadvr.com*. [Online]. Available: <http://uploadvr.com/five-ways-to-reduce-motion-sickness-in-vr/>. [Accessed: 20-Oct-2016].
- [34] R. S. Kennedy, J. M. Drexler, D. E. Compton, K. M. Stanney, D. S. Lanham, and D. L. Harm, "Configural scoring of simulator sickness, cybersickness and space adaptation syndrome, similarities and difference," *Virtual Adapt. Environ. Appl. Implic. Hum. Perform. Issues*, p. 247, 2003.
- [35] C. E. Lathan, M. R. Tracey, M. M. Sebrechts, D. M. Clawson, and G. A. Higgins, "Using virtual environments as training simulators: Measuring transfer," *Handb. virtual Environ. Des. implementation, Appl.*, pp. 403–414, 2002.
- [36] K. M. Stanney, D. S. Lanham, R. S. Kennedy, and R. Breaux, "Virtual environment exposure drop-out thresholds," *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. 43rd Annu. Meet.*, pp. 1223–1227, 1999.
- [37] R. Pausch, T. Crea, and M. Conway, "A Literature Survey for Virtual Environments: Military Flight Simulator Visual Systems and Simulator Sickness," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 1, no. 3, pp. 344–363, Jan. 1992.
- [38] K. S. Kingdon, K. M. Stanney, and R. S. Kennedy, "Extreme Responses to Virtual Environment Exposure," *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.*, vol. 45, no. 27, pp. 1906–1910, Oct. 2001.
- [39] J. T. Reason and J. J. Brand, *Motion sickness*. New York: Academic Press Inc, 1975.
- [40] B. Patrão, S. Pedro, and P. Menezes, "How to Deal with Motion Sickness in Virtual Reality," 2015.
- [41] B. D. Lawson, D. A. Graeber, A. M. Mead, and E. R. Muth, "Signs and symptoms of human syndromes associated with synthetic experiences," *Handb. virtual Environ. Des. implementation, Appl.*, pp. 589–618, 2002.

- [42] R. S. Kennedy, M. B. Jones, K. M. Stanney, A. Ritter, and J. M. Drexler, "Human factors safety testing for virtual environment mission-operations training," Houston, 1996.
- [43] R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum, and M. G. Lilienthal, "Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness." *The international Journal of aviation psychology*, 1993.
- [44] M. Slater, M. Usoh, and A. Steed, "Taking steps: the influence of a walking technique on presence in virtual reality," *ACM Trans. Comput. Interact.*, vol. 2, no. 3, pp. 201–219, 1995.
- [45] XinReality, "Locomotion." [Online]. Available: <http://xinreality.com/wiki/Locomotion>. [Accessed: 10-Oct-2016].
- [46] "ArmSwinger VR Locomotion System." [Online]. Available: <https://github.com/ElectricNightOwl/ArmSwinger#what-is-this>. [Accessed: 21-Dec-2016].
- [47] J. Holmér, "The Design of the Portal Locomotion," *medium.com*, 2016. [Online]. Available: <https://medium.com/neat-corp/the-design-of-the-portal-locomotion-2677f3b3f9b5#.de0man3to>. [Accessed: 10-Oct-2016].
- [48] A. Colgan, "5 Experiments on the Bleeding Edge of VR Locomotion," *leapmotion.com*. [Online]. Available: <http://blog.leapmotion.com/5-experiments-bleeding-edge-vr-locomotion/>. [Accessed: 20-Jan-2017].
- [49] "Tunneling - Experimental VR Locomotion Technique." [Online]. Available: <http://www.mtbs3d.com/phpbb/viewtopic.php?f=138&t=21585>.
- [50] I. Hamilton, "Ubisoft's VR Movement System Looks Incredible," *Uploadvr.com*. [Online]. Available: <http://uploadvr.com/eagle-flights-solution-to-vr-movement-looks-incredible/>. [Accessed: 12-Dec-2016].
- [51] N. Carey, "Establishing Pedestrian Walking Speeds," Portalnd State Univerity, 2005.