

# **Realidade Virtual: Reflexo Experiência Imersiva no Mundo da Cor**

**João Henrique de Lemos Pereira Coutinho**

Relatório de Projeto para obtenção do Grau de Mestre em  
**Design Multimédia**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutora Águeda Simó Cachorro

**janeiro de 2023**



## **Declaração de Integridade**

Eu, João Henrique de Lemos Pereira Coutinho, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição 10416 de Design Multimédia da Faculdade de Artes e Letras, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referência de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 25/01 /2023



(assinatura conforme Cartão de Cidadão ou preferencialmente assinatura digital no documento original se naquele mesmo formato)



## **Dedicatória**

Este trabalho é dedicado a quem me permitiu crescer, aprender e voar.



# Agradecimentos

Agradeço, em primeira mão, à minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Doutora Águeda Simó, pela orientação e apoio que me facultou, pelo ensino, críticas e opiniões ao longo da realização deste trabalho, e pela sua simpatia e incentivo constantes.

Agradeço a toda a minha família, os meus pais em especial, que são os maiores responsáveis pela possibilidade de estar onde estou, aprender o que aprendi, viver o que vivi, e sonhar o que sonho.

Aos meus irmãos, que partilham a vida comigo.

Aos meus amigos, que nunca me deixam só.

À minha namorada, que me apoia como ninguém mais.



## Resumo

O presente relatório aborda e descreve o processo de desenvolvimento de um projeto final de mestrado na área da Realidade Virtual (RV) intitulado *Reflexo*. O projeto expõe definições importantes para a aprendizagem e compreensão dos conceitos, contextualização e técnicas da realidade virtual, da cor e do daltonismo.

*Reflexo* utiliza a RV para explorar a problemática da percepção da cor e tem como inspiração as dificuldades impostas pelo daltonismo. Resume-se à criação de ambientes imersivos virtuais que simulam, com uma aproximação artística, os diferentes tipos de daltonismo total e que permitem ao utilizador a hipótese de os vivenciar e experimentar, interagindo com o espaço virtual e seus componentes. Tem no seu âmago, a tentativa de compreender de maneira mais imersiva que a cor sofre variações, e que existem outras perspectivas que têm de ser tidas em conta.

Este projeto é constituído por sete ambientes surreais que expõem reflexões das vivências do autor, e que se conjugam num processo criativo. Nestes ambientes, o utilizador é capaz de se deslocar e aventurar, vivenciando, imersivamente, todos os ambientes e elementos, enquanto percebe as diferenças cromáticas que ocorrem com daltonismo.

## Palavras-chave

Design;Realidade Virtual;Cor;Daltonismo;Imersão;



## **Abstract**

The present report addresses and describe the process of development of a master's final project in the area of Virtual Reality (VR) entitled *Reflexo*. The project exposes important definitions for learning and understanding the concepts, contextualization and techniques of virtual reality, color and color blindness.

*Reflexo* uses VR to explore the problem of color perception and is inspired by the difficulties imposed by color blindness. It boils down to the creation of virtual immersive environments that simulate, with an artistic approach, the different types of total color blindness and allows the user the hypothesis to experience them, interacting with the virtual space and its components. It has at its core, the attempt to understand more immersively that color suffers variations, and that there are other perspectives that need to be taken into account.

This project consists of seven surreal VR environments that expose reflections of the author's experiences, and that are combined in a creative process. In these environments, the user is able to move and venture, experiencing, immersively, all environments and elements, perceiving the chromatic differences that occur with color vision deficiency.

## **Keywords**

Design;Virtual Reality;Color;Color Blindness;Immersion;



# Índice

Introdução.....	1
Capítulo 1. Realidade Virtual.....	3
1.1 O que é a Realidade Virtual?.....	3
1.2 Características da Realidade Virtual.....	4
1.3 Origem e Evolução da Tecnologia.....	6
1.4 Sistemas de Realidade Virtual.....	11
1.5 Realidade Virtual na Criação Artística.....	15
1.5.1 Obras Artísticas.....	17
Capítulo 2. Cor e Daltonismo.....	22
2.1 Cor e seus Sistemas.....	22
2.2 Visão.....	24
2.3 Daltonismo.....	27
Capítulo 3. Projeto Experimental.....	29
3.1 Conceito e Objetivos.....	29
3.2 Fases de Produção e Metodologias.....	31
3.2.1 Casos de Estudo.....	32
3.2.1.1 Experience: Colorblindness.....	32
3.2.1.2 ColorVisionVR.....	35
3.2.2 Showcase.....	37
3.2.3 Conceção dos Ambientes Virtuais: Desenho, Imersão, Presença e Interatividade.....	38
3.2.4 Implementação e Técnicas.....	41
3.2.5 Descrição dos Ambientes Virtuais e Experiências dos Utilizadores ...	47
3.2.5.1 Área Comum.....	47
3.2.5.2 Bosque Gigante.....	48
3.2.5.3 Nuvens Mágicas.....	49
3.2.5.4 Mundo Muitos Mundos.....	50
3.2.5.5 Jogo.....	51
3.2.5.6 Cidade Do Progresso.....	52
3.2.5.7 Ilha do Tesouro.....	53
3.2.5.8 Experiências dos Utilizadores.....	54
Conclusão.....	57
Perspetivas Futuras.....	59
Referências.....	61

Bibliografia .....	61
Páginas Web consultadas .....	64
Anexos .....	67
Anexo 1 – Desenhos conceituais dos ambientes virtuais .....	67
Anexo 2 – Paletes cromáticas .....	68
Anexo 3 – Texturas.....	71
Anexo 4 – Ambientes Virtuais .....	74



## Lista de Figuras

- Figura 1 – Sword Of Damocles
- Figura 2 – Videoplace
- Figura 3 – Virtual Environment Workplace
- Figura 4 – Virtuality
- Figura 5 – Oculus Rift, Google Cardboard e HTC Vive SteamVR
- Figura 6 – Sistemas CAVE
- Figura 7 – Responsive Workbench
- Figura 8 – Holobench
- Figura 9 – Fish Tank VR
- Figura 10 – Osmose
- Figura 11 – Rising
- Figura 12 – The Chalkroom
- Figura 13 – Microworlds, Sirens and Argonauts
- Figura 14 – Espetro Visível de Newton
- Figura 15 – Cores Primárias
- Figura 16 – Olho Humano
- Figura 17 – Cumprimentos de Onda
- Figura 18 – Círculos Cromáticos
- Figura 19 – Esboços dos mapas das áreas
- Figura 20 – Experience: Colorblindness
- Figura 21 – Experience: Colorblindness
- Figura 22 – Experience: Colorblindness
- Figura 23 – Experience: Colorblindness
- Figura 24 – Experience: Colorblindness
- Figura 25 – ColorVisionVR
- Figura 26 – ColorVisionVR
- Figura 27 – Testes de salas
- Figura 28 – Modelos elaborados no showcase
- Figura 29 – Showcase
- Figura 30 – Desenhos conceituais
- Figura 31 – Paletes cromáticas
- Figura 32 – Paletes cromáticas daltônicas
- Figura 33 – Oculus Rift S
- Figura 34 – Photoshop
- Figura 35 – Blender
- Figura 36 – Unity
- Figura 37 – Modelos 3D
- Figura 38 – Planeamento inicial da segunda área
- Figura 39 – Texturas da segunda área
- Figura 40 – Texturas da segunda área, versão protanopa
- Figura 41 – Modelo 3D do Portal
- Figura 42 – Vista de topo das áreas elaboradas na versão tricromata
- Figura 43 – Vista de topo das áreas elaboradas na versão dicromata
- Figura 44 – Área Comum
- Figura 45 – Bosque Gigante versão tricromata
- Figura 46 – Bosque Gigante versão protanopa
- Figura 47 – Nuvens Mágicas versão tricromata
- Figura 48 – Nuvens Mágicas versão deuteranopa
- Figura 49 – Mundo Muitos Mundos versão tricromata
- Figura 50 – Mundo Muitos Mundos versão tritanopa

- Figura 51 – Jogo versão tricromata  
Figura 52 – Jogo versão protanopa  
Figura 53 – Cidade do Progresso versão tricromata  
Figura 54 – Cidade do Progresso versão deuteranopa  
Figura 55 – Ilha do Tesouro versão tricromata  
Figura 56 – Ilha do Tesouro versão tritanopa  
Anexos:  
Figura 57 – Desenhos conceituais das seis áreas  
Figura 58 – Paletes cromáticas da área Bosque Gigante  
Figura 59 – Paletes cromáticas da área Nuvens Mágicas  
Figura 60 – Paletes cromáticas da área Mundo Muitos Mundos  
Figura 61 – Paletes cromáticas da área Jogo  
Figura 62 – Paletes cromáticas da área Cidade do Progresso  
Figura 63 – Paletes cromáticas da área Ilha do Tesouro  
Figura 64 – Texturas da área Bosque Gigante  
Figura 65 – Texturas da área Nuvens Mágicas  
Figura 66 – Texturas da área Mundo Muitos Mundos  
Figura 67 – Texturas da área Cidade do Progresso  
Figura 68 – Texturas da área Ilha do Tesouro  
Figura 69 – Portal do Bosque Gigante  
Figura 70 – Destino do Bosque Gigante  
Figura 71 – Perspetiva do Bosque Gigante  
Figura 72 – Perspetiva do Bosque Gigante  
Figura 73 – Portal das Nuvens Mágicas  
Figura 74 – Destino das Nuvens Mágicas  
Figura 75 – Perspetiva das Nuvens Mágicas  
Figura 76 – Perspetiva das Nuvens Mágicas  
Figura 77 – Portal do Mundo Muitos Mundos  
Figura 78 – Destino do Mundo Muitos Mundos  
Figura 79 – Perspetiva do Mundo Muitos Mundos  
Figura 80 – Perspetiva do Mundo Muitos Mundos  
Figura 81 – Portal do Jogo  
Figura 82 – Destino do Jogo  
Figura 83 – Perspetiva do Jogo  
Figura 84 – Perspetiva do Jogo  
Figura 85 – Portal da Cidade do Progresso  
Figura 86 – Destino da Cidade do Progresso  
Figura 87 – Perspetiva da Cidade do Progresso  
Figura 88 – Perspetiva da Cidade do Progresso  
Figura 89 – Portal da Ilha do Tesouro  
Figura 90 – Destino da Ilha do Tesouro  
Figura 91 – Perspetiva da Ilha do Tesouro  
Figura 92 – Perspetiva da Ilha do Tesouro  
Figura 93 – Portais de acesso aos Ambientes Virtuais



## Lista de Acrónimos

RV	Realidade Virtual
AV	Ambiente Virtual
HMD	Head Mounted Display
VPL	Virtual Programming Languages
VIEW	Virtual Interface Environment Workstation
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
DIY	Do It Yourself
HTC	High Tech Computer
6DOF	6-Degrees-Of-Freedom
3DOF	3-Degrees-Of-Freedom
CPU	Central Process Unit
GPU	Graphics Processing Unit
CRT	Cathodic Ray Tube
CVD	Color Vision Deficiency



# Introdução

Este projeto tem como principal objetivo a criação de ambientes virtuais imersivos que simulem a visão daltónica. Ambientes estes que podem ser alcançados através de capacetes de realidade virtual (RV), permitindo ao utilizador experienciar e contemplar uma nova realidade cromática, explorando cenários tridimensionais.

Para a criação do projeto experimental, foi necessária uma abordagem às temáticas da realidade virtual, como a sua definição, a sua origem e evolução, e ainda experimentar pela primeira vez interfaces desta nova tecnologia.

No primeiro capítulo do relatório, dentro da definição de RV, serão estudadas as características necessárias para que haja uma experiência de realidade virtual, e consequentemente, a distinção dos diferentes sistemas que permitem estas experiências. Neste capítulo será ainda abordada a história desta tecnologia e identificados os principais pontos no desenvolvimento da RV. Além dos aspetos técnicos, serão também estudados o papel e a importância desta tecnologia para o momento de criação artística.

No segundo capítulo será dissertado o tema da cor e do fenómeno luminoso, juntamente com a explicação e distinção entre os sistemas cromáticos, os sistemas cores luz e cores pigmento e as sínteses aditivas e subtrativas. Será desvendado o funcionamento do órgão da visão e o porquê de conseguirmos perceber a cor. O tema do daltonismo será também clarificado, com a elucidação das causas e a descrição dos seus diferentes tipos de anomalias e deficiências, tais como a tricromacia anómala e a dicromacia. O daltonismo é uma deficiência visual que causa vários desafios aos daltónicos ao longo da sua vida. Obstáculos estes que se vão intrometendo diariamente na vida dos portadores da deficiência. Tarefas como cozinhar, ir às compras, conduzir ou até desfrutar de várias formas de entretenimento tornam-se tarefas confusas, devido a não conseguirem perceber diferenças de cor, tanto em casos graves como em caso menos agudos.

No terceiro capítulo será abordado o momento prático do projeto, onde consta a descrição das diversas fases de produção até à criação do projeto experimental. O projeto final tem como principal área os novos media, sendo o principal desígnio a exploração de conceitos pessoais de uma forma livre num ambiente virtual. Esta escolha deve-se, em especial, às experiências vividas pelo autor, tanto no seu passado ligado às artes como, mais recentemente, na sua conexão ao design multimédia, vivências estas que aliadas à vertente criativa do autor levaram ao produto final deste relatório. Aliando as vivências às temáticas estudadas, decidiu-se projetar uma experiência imersiva que conseguisse retratar a cor da maneira que é percebida por um indivíduo dicromata.

O processo de produção foi dividido em quatro fases de desenvolvimento aliados a testes experimentais para o ensaio dos ambientes virtuais e os seus diversos componentes. A primeira fase refere-se à criação e desenvolvimento concetual, enquanto as três restantes fases concentram o desenvolvimento prático das áreas tricromatas e dicromatas. Criaram-se elementos visuais tridimensionais que se conjugam para a criar 13 ambientes virtuais distintos, que podem ser visualizados e explorados virtualmente numa experiência no mundo da cor.

# Capítulo 1. Realidade Virtual

## 1.1 O que é a Realidade Virtual?

O termo e significado de realidade virtual (RV) foi, ao longo dos anos, objeto de estudo e escrutínio por parte de variados engenheiros, filósofos e artistas, existindo uma disparidade no conceito base. Alguns autores que, devido à sua área de *expertise*, focam-se mais em conceitos técnicos e tecnológicos, enquanto outros definem e debatem a realidade virtual como uma vertente mais concetual ou filosófica.

Como defensor de um conceito técnico/tecnológico, George Coates definiu a RV como “electronic simulations of environments experienced via head-mounted eye goggles and wired clothing enabling the end user to interact in realistic three-dimensional situations”<sup>1</sup> (Coates citado em Steuer, 1992: 74).

Já Patrice Weiss e Adam Jessel consideram que a realidade virtual:

“[...] entails the use of advanced technologies, including computers and various multimedia peripherals, to produce a simulated (i.e. virtual) environment that users perceive as comparable to real world objects and events. With the aid of specially designed transducers and sensors, users interact with displayed images, moving and manipulating virtual objects, and performing other actions in a way that engenders a feeling of actual presence in the simulated environment.”<sup>2</sup> (1998: 278).

Ainda um último exemplo de forma a definir realidade virtual baseado em conceitos técnicos e tecnológicos, para Greenbaum a definição consiste em: “an alternate world filled with computer-generated images that respond to human movements. These simulated environments are usually visited with the aid of an expensive data suit which features stereophonic video goggles and fiber-optic data gloves.”<sup>3</sup> (Greenbaum, 1992:58).

Todas as definições enunciadas retratam a realidade virtual como algo que é capaz de simular ambientes através de computadores e acessórios tecnológicos, como são exemplos capacetes e/ou luvas. Mas, estas designações poderão tornar-se obsoletas devido a técnicas e sistemas que estejam já ultrapassadas, nomeadamente o caso dos fios, que em versões recentes já não são considerados.

---

<sup>1</sup> Tradução de autor: “simulações eletrónicas de ambientes experienciados via óculos montados na cabeça e roupas com fios, que permitem ao utilizador final interagir com situações tridimensionais realistas”

<sup>2</sup> Tradução de autor: “implica o uso de tecnologias avançadas, incluindo computadores e vários periféricos multimédia, para produzir um ambiente simulado (i.e. virtual) que o utilizadores percebem como comparável a objetos e eventos reais. Com a ajuda de transdutores e sensores especialmente projetados, os utilizadores interagem com as imagens exibidas, movendo e manipulando objetos virtuais, e realizar outras ações de forma a gerar uma sensação de presença real no ambiente simulado.”

<sup>3</sup> Tradução de autor: “um mundo alternativo cheio de imagens geradas por computador que reagem a movimentos humanos. Esses ambientes simulados geralmente são visitados com a ajuda de um traje de dados caro que possui óculos de visão estereofónica e luvas de dados de fibra de ótica.”

Se por um lado temos as definições apresentadas anteriormente, por oposição existe um segundo grupo mais focado nos aspetos concetuais e filosóficos da RV, considerando em particular o autor Jonathan Steuer, que criticou conceitos que apenas associam o termo de realidade virtual a dispositivos e acessórios tecnológicos, uma vez que, segundo o autor, a aplicação das definições são limitadas à própria tecnologia e ignoram a experiência do utilizador:

"However, from the standpoint of communication researchers, policymakers, software developers, and media consumers, a device-driven definition of virtual reality is unacceptable: It fails to provide any insight into the processes or effects of using these systems, fails to provide a conceptual framework from which to make regulatory decisions, fails to provide an aesthetic from which to create media products, and fails to provide a method for consumers to rely on their previous experiences with other media in understanding the nature of virtual reality."<sup>4</sup> (Steuer, 1992:73).

Adicionalmente uma última definição de realidade virtual, Águeda Simó define Realidade Virtual como:

“Espacios tridimensionales generados en tiempo real por un ordenador que simulan la percepción de la realidad física y, por tanto, producen la sensación de presencia; posibilidad de interactuar con dichos espacios en tiempo real (a través de diversas interfaces físicas); inmersión visual (i.e. gran ángulo visual y visión estereoscópica).”<sup>5</sup> (2019: 134).

Em suma, apesar da definição de realidade virtual sofrer variações, e considerada através de aspetos técnicos e tecnológicos, existem atributos e características que devem estar presentes para uma definição mais precisa da RV, como a simulação da perceção, a sensação de presença, a imersão visual e a interação em tempo real.

## 1.2 Características da Realidade Virtual

Segundo William Sherman e Alan Craig, podemos atribuir quatro elementos-chave para a experiência de realidade virtual: um mundo virtual (“A virtual world is the content of a given medium. It may exist solely in the mind of its originator or be broadcast in such a way that it can be shared with others.”<sup>6</sup> 2002:6); a imersão (“Considering the user must be immersed within some other, alternate reality, an admittedly simplistic definition of VR might be immersion into

---

<sup>4</sup> Tradução de autor: “No entanto, do ponto de vista de pesquisadores de comunicação, formuladores de políticas, desenvolvedores de software e consumidores de mídia, uma definição de realidade virtual orientada por dispositivos é inaceitável: Falha em fornecer qualquer discernimento de processos ou efeitos do uso destes sistemas, falha em fornecer uma estrutura concetual a partir do qual se toma decisões regulatórias, falha em fornecer uma estética a partir do qual se cria produtos de mídia, e falha em fornecer um método para os consumidores confiarem nas suas experiências anteriores com outros mídia para entender a natureza da realidade virtual.”

<sup>5</sup> Tradução de autor: “Espaços tridimensionais gerados em tempo real por um computador que simulam a perceção da realidade física e, portanto, produzem a sensação de presença; possibilidade de interagir com os ditos espaços em tempo real (através de diversas interfaces físicas); imersão visual (i.e. grande ângulo de visão e visão estereoscópica).”

<sup>6</sup> Tradução de autor: “Um mundo virtual é o conteúdo de um determinado meio. Pode existir apenas na mente do seu criador ou ser transmitido de forma que possa ser compartilhado com outros.”

an alternate reality or point of view.”<sup>7</sup> 2002:7); o feedback sensorial (“Unlike more traditional media, VR allows participants to select their vantage point by positioning their body and to affect events in the virtual world. These features help to make the reality more compelling than a media experience without these options”<sup>8</sup> 2002:10); e a interatividade (“For virtual reality to seem authentic, it should respond to user actions, namely, be interactive.”<sup>9</sup> 2002:10).

Em vez de classificar a realidade virtual como algo apenas técnico, estas definições atribuem-lhe as mais importantes valências detetadas na experiência da realidade virtual sem colocar limitações em termos de sistemas de RV. Termos estes que permitem uma definição mais precisa e concreta da experiência da realidade virtual.

Porém existem dois termos que causam equívocos, sendo eles a imersão e a presença, o que leva ao seu uso intercambiado por parte de variadíssimos autores na área da RV. Devido a estas confusões tornou-se mais difícil a definição destes termos (Wohlgenannt et al., 2020:3). Para que haja imersão num ambiente é preciso haver estímulos sensoriais, sendo um dos sentidos mais importantes a visão. Ao simular este sentido, os sistemas de RV permitem aos utilizadores vivenciar os ambientes virtuais, mesmo não se encontrando lá fisicamente (Slater & Sanchez-Vives, 2016:4). Desta forma, é evidente, que para um sistema ser imersivo, o campo de visão do utilizador tem de estar confinado às telas de projeção ou a ecrãs.

Como explicam Bowman e McMahan, o nível de imersão dos sistemas de RV, depende do *software* de renderização e da tecnologia dos *displays*. A imersão é algo objetivo e mensurável, logo há sistemas que têm um maior nível de imersão do que outros. Por outro lado, a presença é uma resposta individual e dependente do contexto do utilizador, relacionada à experiência de “estar presente” (Bowman & McMahan, 2007:38).

Slater e Wilbur destacam a diferença entre estes termos da seguinte forma, a imersão como sendo objetivo e quantificável, enquanto a presença como um estado de consciência, um sentido psicológico de estar num ambiente virtual (Slater & Wilbur, 1997:4). Uma forte ilusão perceptual é muitas vezes referida como um senso de presença envolvente. A palavra presença sugere imediatamente que o utilizador tenha sensações de estar presente num ambiente, e que perceba os objetos contidos no Ambiente Virtual (AV) igualmente presentes (Biocca, 1992:27).

Quanto mais intensamente o utilizador estiver envolvido, interactivamente e emocionalmente, menos o mundo virtual parece uma construção, e inclusive, é percebido como uma experiência

---

<sup>7</sup> Tradução de autor: “Considerando que o utilizador deve estar imerso dentro de uma outra, realidade alternativa, uma definição reconhecidamente simplista de RV pode ser imersão numa realidade alternativa ou ponto de vista.”

<sup>8</sup> Tradução de autor: “Ao contrário dos média mais tradicionais, a RV permite que os participantes seleccionem o seu ponto de vista, posicionar o seu corpo e afetar eventos no mundo virtual. Esses recursos ajudam a tornar a realidade mais atraente do que uma experiência de média sem essas opções.”

<sup>9</sup> Tradução de autor: “Para a realidade virtual parecer autêntica, deve responder às ações do utilizador, nomeadamente, ser interativa.”

peçoal (Grau, 2003:200). A ideia fundamental é que os utilizadores que estejam nos ambientes virtuais de maneira mais presente, os experienciem como a sua realidade em vez do mundo físico que os envolve, e que considerem estes ambientes como locais visitados em vez de imagens vistas (Slater & Wilbur, 1997:4).

Para a utilização de ambientes virtuais com a finalidade de ensino ou de treino, como são exemplo cirurgiões, o sentido de presença é crucial. Pois devem proceder de maneira apropriada em AVs e do mesmo modo transferir o conhecimento obtido/correspondente para a ação no mundo real (Slater & Wilbur, 1997:8). Em suma, quanto maior for o grau de presença maior será a chance de que os participantes ajam em AVs de forma semelhante ao seu comportamento à sua realidade quotidiana, quando estão na presença de circunstâncias similares (*idem*).

Além da imersão e da presença, existe um outro aspeto importante e necessário na definição da realidade virtual, que é a interatividade. Este é o fator em que os utilizadores podem participar na modificação da forma e do conteúdo de um ambiente virtual em tempo real (Steuer, 1992:84). Ou seja, é a habilidade que permite aos utilizadores interagir com um ambiente virtual, tanto na escolha de direções, como na mudança de posição, alterar o seu ponto de vista, ou igualmente até levantar e pousar os objetos virtuais. Existem diversos fatores importantes que ajudam na definição dos graus de interatividade de um ambiente virtual, segundo Steuer, estes são a velocidade de resposta do sistema, as opções para interagir e o mapeamento da interação. A velocidade de resposta do sistema, é representado pelo tempo que as ações do utilizador demoram a realizar-se, provocando uma alteração instantânea no ambiente (Steuer, 1992:86). As opções para interagir são determinadas pela quantidade de modificações e manipulações que podem ser feitas pelos utilizadores nos AV (Steuer, 1992:86). Por último, o mapeamento é referente à capacidade e à maneira de como o sistema mapeia as ações humanas, e à forma como estas estão conectadas às ações nos ambientes, através de controlos, de forma natural e previsível (Steuer, 1992:86).

### **1.3 Origem e Evolução da Tecnologia**

Um dos sistemas antecedentes à RV foi desenvolvido em 1956 pelo cinematógrafo Morton Heilig, com o nome de *Sensorama*. Era um sistema inovador multissensorial, com uma simulação de uma viagem de moto pelas ruas de *Manhattan*, que estimulava todos os sentidos, não só a visão e a audição. Era uma máquina parecida às *Arcade*, populares na década de 1980, que continha um assento vibratório, um *display* estereoscópico, colunas, ventoinhas e gerador de cheiros. Foram desenvolvidos seis filmes de curta duração que o utilizador podia escolher e ficar imerso, não só conseguindo ver e ouvir, como sentir diferentes odores, e dependendo da velocidade a que se submetia, sentir, por exemplo, o vento a bater na face. Apesar da questão da multissensorialidade, o *Sensorama* não era uma experiência interativa.

As décadas de 1960 e 1970 foram decisivas para o desenvolvimento dos primeiros sistemas de realidade virtual, havendo desenvolvimentos não só técnicos, como conceituais, que permitiram a outros desenvolvedores desenhar o futuro da tecnologia RV, começando pelos primeiros capacetes, passando pelos simuladores de voo e à evolução de sistemas de rastreamento (sistemas que fornecem informação da localização e movimentação do utilizador a um processador central em tempo real).

O primeiro Head Mounted Display (HMD) com sistema de *tracking* (rastreamento) e com ecrãs de vídeo para cada olho, *Headsight*, foi concebido por Comeau e Bryan. Este permitia a militares uma visão imersiva remota de situações perigosas, sendo estes capazes de ver ao redor do ambiente onde a câmara remota estava colocada.

Em 1965, Ivan Sutherland, apresentou a sua perspectiva em relação ao *Ultimate Display*. Um conceito que consistia em computadores capazes de criar e manter um ambiente virtual, que fossem aptos para serem vistos através de capacetes e que parecessem realísticos através de som 3D e retorno tátil. Com este *display*, os utilizadores deveriam ser capazes de interagir com os objetos expostos no ambiente virtual de maneira realística. Segundo Sutherland:

“The ultimate display would, of course, be a room within which the computer can control the existence of matter. A chair displayed in such a room would be good enough to sit in. Handcuffs displayed in such a room would be confining, and a bullet displayed in such a room would be fatal. With appropriate programming such a display could literally be the Wonderland into which Alice walked.”<sup>10</sup> (1965: 2).

Apenas três anos mais tarde, Sutherland, juntamente com o seu aluno, Bob Sproull, desenvolveu o *Sword of Damocles* (fig.1), o primeiro HMD de realidade virtual e realidade aumentada conectado a um computador em vez de uma câmara. As imagens, que eram apenas formas simples, eram projetadas para dois pequenos ecrãs montados numa estrutura pesada que pendia do teto. O sistema adaptava-se à cabeça do utilizador, e este ao se virar, conseguia observar as imagens geradas pelo computador noutro ponto de vista. O visor permitia ver, não só as imagens geradas, como também o ambiente físico que circundava o utilizador, o espaço virtual combinava-se e sobrepunha-se ao espaço real. De facto, poderíamos considerar o *Sword Of Damocles* como o primeiro sistema de realidade aumentada.

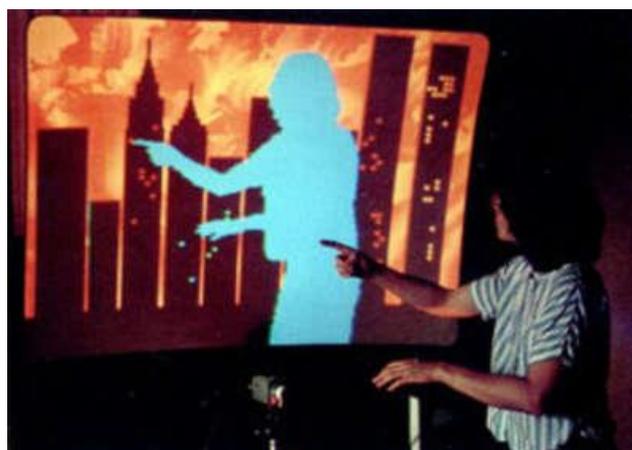
---

<sup>10</sup> Tradução de autor: “O display final, seria, claramente, uma sala dentro da qual o computador pode controlar a existência de matéria. Uma cadeira exibida em tal sala seria boa o suficiente para se sentar. Algemas exibidas em tal sala seriam confinantes, e uma bala exibida em tal sala seria fatal. Com a programação apropriada, tal display poderia ser literalmente o País das Maravilhas no qual Alice entrou.”



**Figura 1.** Sword Of Damocles. Esquerda: A estrutura do sistema; Direita: Vista do capacete. Imagem retirada e adaptada de Elaine (<http://etsanggarp.blogspot.com/2016/03/01-research-kickstarter-images.html>).

Myron Krueger, artista computacional, desenvolveu várias experiências, em 1969, denominadas *Artificial Reality*. As experiências ocorreram utilizando computadores e sistemas de vídeo, que geravam ambientes responsivos aos utilizadores. Estas experiências levaram Krueger a desenvolver a primeira plataforma interativa de realidade artificial, em 1975. O *Videoplace* consistia numa instalação, numa ou em várias salas escuras com grandes ecrãs de vídeo que envolviam o utilizador. Este, conseguia ver a sua silhueta, gerada por um computador através da captação do seu corpo por uma câmara, que representava as suas ações e movimentos (fig.2). Além disso, utilizadores em salas diferentes podiam interagir com a silhueta de outros utilizadores, o que reforçou a ideia de que as pessoas podiam comunicar entre si através do mundo virtual, apesar de não estarem próximas fisicamente.



**Figura 2.** Videoplace. Utilizador e sua respetiva silhueta. Imagem retirada de Compart (<http://dada.compart-bremen.de/item/artwork/1346>)

Na década de 1980, surgiu um dos fios condutores para a ideia de comercialização em massa de tecnologias RV. A empresa VPL Research Inc, fundada por Jaron Lanier (cunhou o termo Realidade Virtual em 1989) e Thomas Zimmerman, foi a primeira a comercializar óculos e luvas de RV, mas também a desenvolver vários equipamentos, tais como, a *Data Glove*, o *Data Suit*, o *EyePhone* HMD e o *Audio Sphere*. Juntamente com a NASA, desenvolveram um programa de realidade virtual que possibilitava aos astronautas treinarem, denominado *Virtual Interface Environment Workstation (VIEW)* (fig.3). Neste sistema era utilizado um capacete que proporcionava ao operador a experiência de interagir num ambiente virtual ou real, transmitido por câmeras remotas, juntamente com a *Data Glove*, que detetava o movimento dos dedos dos utilizadores permitindo-lhes interagir com o ambiente e os objetos criados, e ainda o *Data Suit*, um fato com sensores que aumentava exponencialmente a experiência de simulações de realidade virtual, reportando os movimentos, gestos e orientação espacial do utilizador.



**Figura 3.** Virtual Environment Workstation. Utilizador e interfaces. Imagem retirada de Nasa ([https://www.nasa.gov/ames/spinoff/new\\_continent\\_of\\_ideas/](https://www.nasa.gov/ames/spinoff/new_continent_of_ideas/))

Thomas Furness, engenheiro militar, desenvolveu um simulador de voo conhecido como *Super Cockpit*, na *Air Force*. Este sistema de treino continha mapas em 3D gerados em computador, imagens de radar e infravermelhos avançados, permitindo ao piloto ver e ouvir em tempo real. Os sensores utilizados no *Super Cockpit* permitiam aos pilotos controlar a aeronave através de comandos de voz, gestos e adicionalmente por movimento ocular.

Nos anos 90, houve uma tentativa de utilizar a realidade virtual como forma de entretenimento, o Virtuality Group lançou o *Virtuality* (fig.4), umas *arcade* de RV. Estas continham um HMD com imagens em tempo real, *joysticks* e podiam ser conectadas entre si permitindo jogos com múltiplos jogadores. A Nintendo também tentou entrar neste mercado e lançou o Virtual Boy, a primeira consola portátil que exibia jogos monocromáticos 3D, foi um falhanço comercial devido aos gráficos a preto e branco, à falta de suporte de software e à falta de conforto, acabando por ser descontinuada ao fim de um ano.



**Figura 4.** Virtuality. Jogadores nas Arcade. Imagem retirada de Sutori.

(<https://www.sutori.com/en/item/1991-virtuality-group-arcade-machines-as-availability-of-virtual-reality-incre>)

No ano de 1992, na conferência de computação gráfica SIGGRAPH'92 em Chicago, foi apresentado um sistema de RV alternativo ao uso de HMDs. O sistema CAVE (Cave Automatic Virtual Environment), como será estudado posteriormente, este era um cubo com paredes de nove metros quadrados que continham imagens projetadas de maneira a cercarem visualmente e auditivamente o utilizador ou utilizadores. Este sistema permitia uma maior liberdade de movimentos em comparação com os sistemas de HMD e podia ser utilizado por até dez pessoas simultaneamente.

O início do século XXI não foi a melhor época para o desenvolvimento da RV, sendo esta considerada uma tecnologia estagnada, não havendo a capacidade de a melhorar com a tecnologia da altura. No entanto, no ano de 2010, Palmer Luckey, um empreendedor com apenas dezoito anos, criou o primeiro protótipo de HMD do *Oculus Rift* (fig.5.a), que proporcionava um campo de visão de noventa graus e adicionalmente com imagens criadas a partir do poder de processamento do computador. A companhia Oculus VR foi comprada pelo Facebook por dois mil milhões de dólares, o que impulsionou esta tecnologia. Seguidamente a Sony anunciou que estava a trabalhar no *Project Morpheus*, um HMD para a Playstation 4, a Google lançou o *Cardboard* (fig.5.b), um sistema estereoscópico barato e DIY (Do It Yourself) para smartphones, e a Samsung anunciou o *Samsung Gear VR*, um headset que utiliza um smartphone *Samsung Galaxy* como visor. No final da década de 2010, já havia centenas de companhias a desenvolver produtos de realidade virtual. A HTC lançou o *HTC VIVE SteamVR headset* (fig.5.c), o primeiro lançamento comercial de um HMD com rastreio baseado em sensores, que permite aos utilizadores movimentarem-se livremente num espaço.



**Figura 5.** a) Esquerda: Oculus Rift; b) Meio: Google Cardboard; c) Direita: HTC Vive SteamVR. Imagens retiradas de Amazon, de Wikipédia e de James (<https://www.amazon.com/Oculus-Rift-Virtual-Reality-Headset-pc/dp/BooVfoIXEY>) ([https://en.wikipedia.org/wiki/Google\\_Cardboard](https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Cardboard)) (<https://www.roadtovr.com/htc-vive-steamvr-headset-image-surfaces-reveals-cluster-of-inside-out-tracking-sensors/>)

Devido a todos estes avanços tecnológicos, a realidade virtual começou a ser utilizada de diversas maneiras, desde experiências imersivas de jogos, passando para tratamentos de problemas psicológicos, ensinar novas competências, ou ainda a possibilidade de levar pessoas em fases terminais em viagens virtuais. O ano de 2019 foi descrito pela Forbes como *The Year Virtual Reality Goes Real* (O ano em que a realidade virtual se torna real), enquanto o *Oculus Quest*, um HMD sem cabos, criou imenso interesse no público, esgotou em muitos locais, e gerou mais de cinco milhões de euros em compras. Mais recentemente, o Facebook alterou o seu nome para Meta, revelando os seus planos de mudar o mundo através do *Metaverse*.

## 1.4 Sistemas de Realidade Virtual

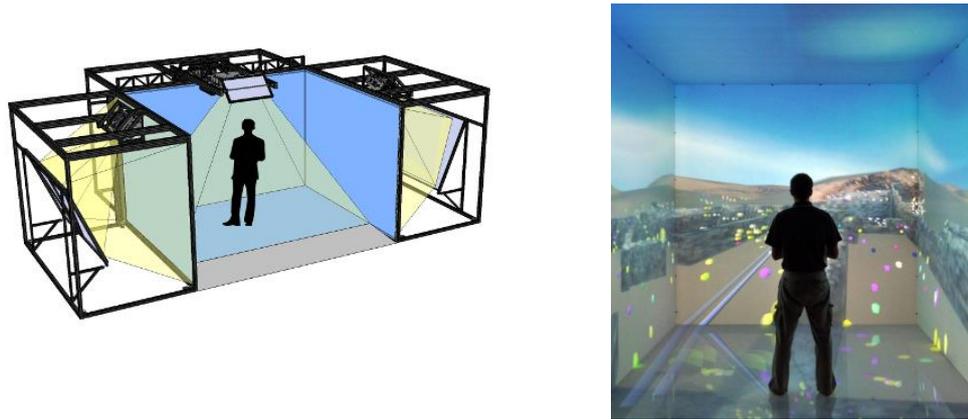
Quando se pensa na realidade virtual, destaca-se o sistema HMD, sendo o mais difundido na população. Ainda que seja uma das interfaces mais utilizadas no universo da RV não é única, havendo outras que permitem aos utilizadores a experiência imersiva num mundo virtual. Ao longo da história desta tecnologia foram desenvolvidos vários sistemas de realidade virtual baseados em simulações, projeções, avatares e ainda em *desktops*. Estes sistemas podem ser classificados como imersivos, semi imersivos e não imersivos, em função da interface visual que dispõem (Onyesolu & Eze, 2011:57).

Um sistema de RV imersivo contém uma interface visual estereoscópica com gráficos capazes de acompanhar a visão do utilizador, não obstante da posição e movimentos que este faça, concedendo ao utilizador a sensação de fazer parte dos ambientes virtuais (Bamodu & Ye, 2013:1170). Um exemplo de sistema imersivo é o que utiliza os Head Mounted Displays para visualizar os ambientes. Já os sistemas semi imersivos utilizam projeções de grande formato ou múltiplos ecrãs, como é o caso de ecrãs de 180° e óculos para visão estereoscópica, proporcionando um campo de visão amplo, mas sem conseguir acompanhar a visão do utilizador em movimento (Onyesolu & Eze, 2011:57). Finalmente, os sistemas não imersivos, são aqueles que utilizam pequenos ecrãs ou projeções, como o ecrã de um computador portátil (*idem*).

Como exemplo de sistema imersivo, o HMD contém dois ecrãs com lentes, um para cada olho, de forma que o utilizador fique completamente isolado visualmente da realidade física. Quando os *headsets* são ligados, os ecrãs que estão no interior preenchem o campo de visão do utilizador com o que quer que esteja a ser exibido. Tanto pode ser um jogo, um vídeo de 360 graus, museus virtuais ou até ambientes virtuais. Visualmente, o utilizador é levado para onde o capacete define e o mundo exterior é substituído por um mundo virtual. Muitos dos HMDs atuais usam *tracking* de movimento 6DOF (*Six-degrees-of-freedom*) graças a sensores ou câmeras externas, não só são capazes de detetar a direção para onde o utilizador está virado, como também a sua posição num espaço definido pelo sistema (English, 2020). Este espaço é por norma limitado a poucos metros quadrados, mas ainda assim permite ao utilizador imergir mais no ambiente, do que se apenas permanecesse imóvel e a olhar em diferentes direções. Combinando esta tecnologia com os controladores de movimento 6DOF e mãos virtuais, o utilizador conseguirá mover-se dentro de um espaço virtual ilimitado (*idem*). Além destes HMDs, existem também *headsets* (capacetes) móveis ainda que menos potentes, pois baseiam-se no processamento de *smartphones* e que apenas oferecem 3DOF (*Three-degrees-of-freedom*). Isto significa que apenas acompanham direções e não movimentos posicionais e normalmente apenas dispõe de um controlador de movimento 3DOF (English, 2020). Apesar das experiências serem similares, não são tão imersivas.

Os HMDs tornaram-se muito populares e no centro desta revolução tecnológica estão os processadores centrais (CPUs) e os processadores gráficos (GPUs), que cada vez mais têm um tamanho reduzido, mais rápidos e potentes (Greengard, 2019:50) Os chips produzidos vieram melhorar drasticamente a experiência da RV, aumentando a velocidade de renderização, enquanto geram gráficos de melhor qualidade. Os gráficos lentos, distorcidos e *bugs*, foram substituídos por visuais ultrarrealísticos que satisfazem a visão e enganam a mente (Greengard, 2019:50).

Um outro exemplo peculiar é o sistema CAVE, (*Cave Automatic Virtual Environment*) (fig.6), sendo um sistema de projeção que pode ser considerado imersivo ou semi imersivo, dependendo de quantos painéis estiverem disponíveis. Se forem seis é imersivo, se tiverem menos são semi imersivos. Normalmente, este sistema compreende numa estrutura cúbica de nove metros com quatro projetores CRT (Tubo de Raios Catódicos) apontados a três painéis, um para a tela da frente, outros dois para os lados esquerdo e direito, e outro apontado para o chão. Os painéis laterais e do piso são juntos de maneira a reduzir descontinuidades nas junções e os projetores são sincronizados para diminuir as cintilações. Os utilizadores ao utilizarem óculos RV veem uma cena 3D convincente, incluindo objetos que parecem crescer a partir do chão (Burdea & Coiffet, 2003: 146).



**Figura 6.** Sistemas CAVE. a) Esquerda: Exemplo de modelo de quatro painéis; b) Direita: Exemplo de seis painéis. Imagens retiradas de VisBox e Mechdyne.

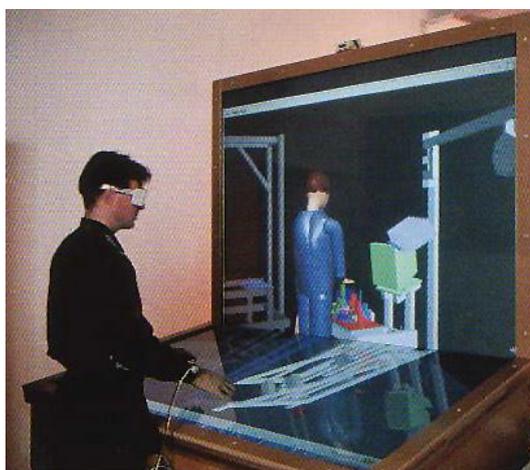
(<http://www.visbox.com/products/cave/viscube-c4/>) (<https://www.mechdyne.com/av-vr-solutions/solutions/virtual-augmented-reality/cave/>)

Como sistemas semi-imersivos podemos apontar como exemplos o Responsive Workbench (fig.7), o Holobench (fig.8) e o HoloScreen. Estes sistemas de projeção podem ser utilizados por vários utilizadores simultaneamente, embora, na maioria destes sistemas apenas um tenha a capacidade de escolher o ponto de vista e a direção da navegação (Simó, 2006: 47; Simó, 2018:126). O Responsive Workbench é provido de um projetor, um espelho largo e uma placa de vidro especial que serve como mesa, na busca de um ambiente virtual adequado centrado numa bancada (Krüger et al., 1995: 44). O efeito estereoscópico é incrivelmente realista para o utilizador que detém os sensores, e dá a sensação de que os objetos flutuam por cima da mesa. Em conclusão podemos dizer que este sistema funciona melhor para a visualização de objetos do que para a navegação e são muito úteis para a visualização de mapas e de modelos digitais de terrenos (Simó, 2006: 47; Mokhtari et Al., 2004: 7).



**Figura 7.** Responsive Workbench. Utilizadores a usufruir do sistema. Imagem retirada de Stanford CGL. (<https://graphics.stanford.edu/projects/RWB/>)

O Holobench (fig.8) foi desenvolvido pela TAN em 1998, e consiste numa mesa de projeção em forma de L com duas superfícies de projeção ortogonal. As telas estão dispostas num ângulo reto, uma verticalmente e outra horizontalmente (Simó, 2006: 48). Devido a esta forma em L, este display consegue, simultaneamente, mostrar uma visão frontal e de cima para baixo proporcionando mais lugares de observação do que outros sistemas que usam só uma tela (Simó, 2018: 2). A TAN desenvolveu outro sistema em forma de L, o HoloScreen, este projeta na parede e no chão num tamanho até três metros em qualquer direção. Esta configuração permite ao utilizador analisar completamente os objetos virtuais. A ideia de combinar mais do que uma tela de projeção, serve o propósito de alcançar um maior campo de visão e permitir ao utilizador mover e mexer a cabeça, providenciando uma melhor experiência imersiva do que os sistemas com apenas uma tela (Mokhtari et Al., 2004: 6).

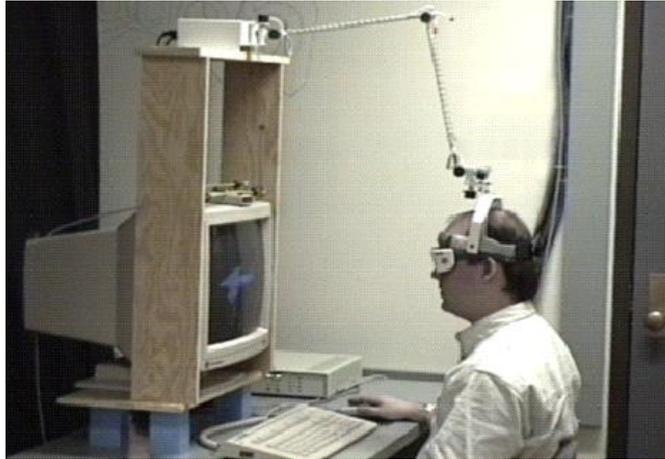


**Figura 8.** Holobench. Utilizador a experimentar o sistema. Imagem retirada de Barco.

(<https://www.barco.com/pt/product/tan-holobench>)

Por último, existem sistemas não imersivos como é o caso dos Desktop VR, o Fish Tank (fig.9) e as telas autoestereoscópicas. Nos primeiros dois exemplos, o utilizador senta-se à frente de um ecrã de computador e coloca óculos que proporcionem visão estereoscópica. Mas devido ao reduzido tamanho dos ecrãs e à visão periférica dos utilizadores, existe um impedimento de imersão nos gráficos (Simó, 2006: 46). No caso das telas autoestereoscópicas não é necessário o uso de óculos, visto que a própria tela permite ao utilizador ver em 3D, fornecendo vistas separadas para cada olho. Os métodos principais para separar a visão, são através de barreiras parallax, aberturas verticais espaçadas que são colocadas à frente do *display*, ou lentes lenticulares que difundem a luz numa pequena camada em frente ao *display* (Pickering, 2014: 125).

Resumidamente, estes são alguns exemplos de sistemas de realidade virtual existentes, oferecendo um maior entendimento acerca das diferenças dos tipos de imersão que podem vir a ser experienciados pelos utilizadores.



**Figura 9.** Fish Tank VR com rastreador de cabeça mecânico. Imagem retirada de “Virtual Reality in Construction: A Review”, de Thabet, W., Shiratuddin, M.F. & Bowman, D., 2002, p. 4.

## 1.5 Realidade Virtual na Criação Artística

Historicamente, o ser humano sempre procurou formas de se expressar e de comunicar, hoje em dia existem inúmeras formas de expressão e criação artística, tal como o caso das artes visuais, das artes performativas ou das artes digitais. Ao longo dos tempos, os desenvolvimentos tecnológicos influenciaram e alteraram a expressão artística, a arte tende a transformar-se em novas formas, e até o conceito de obra de arte foi sujeito a mudanças (Benjamin, 2001:16; Grau, 2003:204). Segundo Oliver Grau, uma obra de arte, independentemente de especificidades, simboliza e foca uma visão artística particular do mundo. Fixa conceitos, ideologias, preferências estéticas e normas, e consciente ou inconscientemente, segue constelações sociais (Grau, 2003:204).

A partir do final do século XX, devido ao crescimento das tecnologias de informação, de comunicação e do desenvolvimento de novas ferramentas por parte de cientistas e engenheiros, houve uma rigorosa exploração por parte dos artistas, o que levou a uma maior colaboração destes nos laboratórios, começando a trabalhar conjuntamente/diretamente com os tecnólogos (deLahunta, 2002:106). Nesta altura ainda era difícil a criação artística e a exibição de obras, devido à complexidade técnica de configuração e programação dos sistemas, em especial devido aos altos custos dos computadores, das interfaces físicas e dos softwares exigidos (Simó, 2019:138).

Os artistas sempre procuraram novas formas de exprimirem os seus pensamentos e emoções, com respeito ao seu mundo interior e ao que os rodeia e devido a essa inquietude houve uma necessidade de convergir as artes com as ciências e tecnologias contemporâneas (Simó, 2006:53). Tradicionalmente, o papel de um artista é determinar componentes artísticas com os quais os espetadores interagem, guiando-os através de uma exploração dos seus conceitos e ideias, por oposição o papel tradicional do espetador é observar e absorver estas ideias, conceitos e

mensagens, moldando-os consoante a sua visão do mundo e os seus preconceitos (Kelley & Tornatzky, 2019:4).

A interação entre o público e as obras de arte não passa da forma de visualização passiva, fazendo com que os espetadores observem telas retangulares planas, enquanto os artistas ditam o ponto de vista da obra (Kelley & Tornatzky, 2019:2). No caso da pintura, a sua bidimensionalidade mostra apenas um ponto de vista, o do artista. Apesar de se conseguir simular a terceira dimensão através das leis da perspetiva, não deixa de ser uma superfície plana. Já a escultura dá uso à terceira dimensão, mas são obras estáticas, e caso haja movimento é só em determinadas formas e direções (Simó, 2006:54). Quando se trata da realidade virtual, existe uma livre eleição do ponto de vista, para além de ser interativa, imersiva e participativa (Simó, 2006:55; deLahunta, 2002:106). Para os criadores e para os espetadores é possível, observarem os ambientes virtuais através de diferentes perspetivas (Hacmun et al., 2018:2). A realidade virtual coloca o visualizador no papel de um criador ativo, tornando-o num utilizador e participante ativo nas suas experiências artísticas, completando as obras com a sua participação (Kelley & Tornatzky, 2019:4; Simó, 2006:55; Grau, 2003:271).

A criação no meio virtual combina certos elementos encontrados na pintura, como a linha, a forma e a cor, com elementos do mundo da escultura, no caso a tridimensionalidade e ainda os novos elementos fornecidos pelo meio digital. Estimulando assim o artista a ampliar a sua expressão para além da tela tipicamente finita, criando ambientes de 360º ilimitados (Hacmun et al., 2018:2). Os criadores permitem, de diversas maneiras, que a audiência veja para lá de superfícies bidimensionais e, eventualmente, consigam entrar dentro das suas mentes (Northfield, 2016). Os ambientes virtuais permitem a criação de estéticas que não estejam presas às leis da física e que cada vez mais, tornam-se mais reais, cativantes e envolventes (Grau, 2003:203).

O trabalho do artista na confeção dos ambientes virtuais, visa a criação e desenvolvimento de linguagens audiovisuais e táteis, que facilitem a interatividade e a imersão, por parte do utilizador, melhorando assim a experiência de comunicação bidirecional entre estes e os AV (Simó, 2006:55). A interface na realidade virtual funciona, de forma generalizada, como a chave para a obra de arte digital e molda tanto o campo da perceção quanto as dimensões de interação (Grau, 2003:198). Citando Bates:

“While the interface is important, we must also look beyond it to the underlying structure of the worlds we want to model. Traditional arts and media provide excellent examples worthy of our inspection. Since VR is new, it is natural that we have not explored the whole problem yet, but we must indeed go forth and carry out a broad exploration if we want virtual reality to achieve its promise of letting us “go anywhere and do anything”.<sup>11</sup> (1992:137)

---

<sup>11</sup> Tradução de autor: “Embora a interface seja importante, também devemos olhar além dela para a estrutura subjacente dos mundos que queremos modelar. Artes e mídias tradicionais fornecem excelentes exemplos dignos da nossa inspeção. Como a RV é nova, é natural que ainda não tenhamos explorado todo o problema, mas devemos sim partir e fazer uma ampla exploração se quisermos que a realidade virtual cumpra a sua promessa de nos deixar “ir a qualquer lugar e fazer qualquer coisa”.”

Existe uma grande contribuição por parte dos artistas para o desenvolvimento e difusão da informação gráfica, a comunicação entre o ser humano e os computadores e a comunicação entre humanos por meio de computadores, o qual implica uma participação ativa no desenvolvimento, na humanização e na difusão da realidade virtual. Ao desempenhar estas funções, a realidade virtual contribui para a atualização e progresso do processo de criação artística e da arte (Simó, 2006:55).

Graças aos avanços tecnológicos que sucederam no início da segunda década do século XXI, há um menor custo monetário e técnico, e conseqüentemente, uma maior procura e acesso à RV, não só por parte da população em geral, mas também se tornou mais acessível e disponível para os artistas explorarem e criarem. Todos estes fatores agilizaram a difusão e a aplicação da realidade virtual em distintas áreas de criação artística e de entretenimento, e existe agora, finalmente, uma capacidade facilitadora de exibição das obras virtuais (Kelley & Tornatzky, 2019:2; Simó, 2019:138).

### 1.5.1 Obras Artísticas

A arte não acompanha a tecnologia da realidade virtual desde os seus primórdios, devido a fatores como a acessibilidade, a complexidade técnica e os grandes custos monetários. Nos anos 90, houve um aumento da facilidade nestes fatores, havendo uma maior aproximação deste meio aos artistas, e à arte (Simó, 2019:138). Neste período de trinta anos, surgiram várias obras artísticas de relevo de variados autores e neste relatório vão ser apresentadas e descritas algumas destas, desde obras artísticas antigas a umas mais recentes.

‘*Osmose*’ é uma aplicação artística que consiste num ambiente virtual imersivo, que utiliza gráficos de computador 3D estereoscópicos e som espacial através de interação em tempo real. Consiste em doze espaços virtuais inspirados na natureza, com exceção do espaço introdutório (Grelha cartesiana), como por exemplo, uma floresta, um lago, uma nuvem, etc. (fig.10.a). Foi criada por Char Davies, em 1994, tendo sido exibida por oito vezes em eventos e exposições desde 1995 a 2003. Utiliza um HMD e um fato que rastreia a respiração e o equilíbrio do participante (fig.10.b). Como no mergulho autónomo, o participante inspira para flutuar para cima, expira para descer e inclina-se suavemente para mudar de direção (Davies, 1998:68). *Osmose* cultiva o interface de utilizador a um nível que é difícil de igualar, é uma simulação tecnicamente avançada e visualmente impressionante de uma série de espaços naturais e textuais amplamente ramificados (Grau, 2003:193). Dois destes espaços são textuais, um denominado de *Code*, que contém as linhas de programação utilizadas, e outro *Text*, com escritos filosóficos e poéticos da autora. Os espaços de *Osmose* encontram-se num meio termo entre o realismo e a abstração, as distinções entre figura e chão dissolvem-se, pois nesta experiência não existem objetos sólidos em espaço vazio, apenas texturas translúcidas e subtis e uma ambigüidade espacial. A transparência combinada com transições longas e vagarosas, torna possível ao utilizador pairar entre os mundos

num espaço não cartesiano, de forma fluída e suave. O objetivo de *Osmose* é abordar a tecnologia computacional como um instrumento expressivo, de maneira a aceder a outro tipo de espaço, um espaço paradoxal virtual/físico de maneira que os utilizadores experienciem uma outra forma de ‘ser’, desvinculado de suposições culturais quotidianas (Davies, 1998:73). Citando Davies:

“After a certain period of immersion (...), various conditions related to the imagery, luminosity, semi-transparency, spatial ambiguity, slow subtle transitions between worlds, evocative resonant sounds, along with solitude, deep breathing and maintaining one's centre of balance within the space all combine to create a suspended dream like state in the immersant's mind, which is experienced as a distinct shift of awareness as he or she lets go of the rational urge to control, and boundaries between inner, outer, mind, body, space and time begin to dissolve.”<sup>12</sup> (1998:71)

Uma outra característica de *Osmose* é a tentativa de acomodar duas plateias, o participante (“immersant”), preso nos dispositivos de *input* (o HMD e o fato), e a audiência colocada numa outra sala, que acompanha, através de uma tela de grande escala e óculos polarizados, a experiência do participante e uma outra tela que recebe a projeção da sombra da silhueta deste. O uso destas duas telas serve para poetizar a relação entre o corpo do utilizador e a obra, chamando a atenção para o papel do corpo como base e meio para a experiência (Davies, 1998:66; deLahunta, 2002:107). A solidão do participante é intencional pelo facto de intensificar a experiência individual do ambiente virtual (Grau, 2003:193).



**Figura 10.** *Osmose*. a) Esquerda: Árvore de *Osmose*; b) Direita: Artista e utilizador com o sistema. Imagens retiradas de Kassem e Magpie Aesthetic.

(<https://thaliakassem.home.blog/2018/09/18/osmose-1995-dissolving-our-bodies-into-new-spaces/>  
<https://magpieaesthetic.com/early-experiments-in-virtual-reality-char-davies-osmose-1995/>)

‘**Rising**’ de Marina Abramović, criada em 2017, é uma aplicação de RV que aborda os efeitos das alterações climáticas, levando os utilizadores a testemunhar o aumento do nível das águas do mar. Ao colocar o capacete o utilizador entra num espaço virtual íntimo, onde encontra um avatar da

<sup>12</sup> Tradução de autor: “Após um certo período de imersão (...), várias condições relacionadas à imagem, luminosidade, semi transparência, ambiguidade espacial, transições lentas e subtis entre mundos, sons ressonantes evocativos, juntamente com solidão, respiração profunda e manutenção do centro de equilíbrio dentro do espaço, tudo se combina para criar um estado de sonho suspenso na mente do imersante, o qual é experienciado como uma mudança distinta de consciência quando ele ou ela deixa de lado o desejo racional de controlo, e os limites entre interior, exterior, mente, corpo, espaço e tempo começam a dissolver.”

artista preso num tanque de vidro, que lentamente se enche de água, e vai cobrindo a artista da cintura ao pescoço (fig.11). O utilizador é então convidado a entrar em contacto com a Abramović virtual, ao estender a sua mão até ao vidro, e ao fazê-lo é transportado para uma cena dramática onde se vê rodeado de calotas glaciares a derreter e a desabar, fazendo o nível da água subir. A artista tenta fazer perceber aos utilizadores o seu impacto no mundo que os rodeia, pedindo-lhes para escolher se devem ou não a salvar do afogamento, comprometendo-se a apoiar o meio ambiente, o que faz diminuir a água no tanque. Caso não ajude o avatar, a sua ação leva à morte não só da artista, como também do planeta. O propósito da artista é sensibilizar as pessoas para os problemas das alterações climáticas, que segundo vários cientistas estão a aumentar a um ritmo alarmante, e fazer com que estas se apercebam, numa maneira mais imersiva, dos problemas que advêm das suas ações (Freeman, 2018). Esta obra é uma performance virtual que utiliza tanto o corpo da artista como o corpo dos utilizadores, como meio para atingir um fim. Para a produção desta performance, Abramović, com a colaboração da Acute Art, passou horas a fio submergida numa piscina, presa a uma plataforma de captura de movimentos para criar a semelhança virtual de si mesma. Conhecida pelos seus feitos de resistência física, a artista reconhece o enorme potencial da realidade virtual. Segundo Abramović, “Whatever you can with your body, you as an avatar can do endlessly”<sup>13</sup> (Abramović. Acute Art, n.d.).



**Figura 11.** Rising. Avatar de Marina Abramović presa no tanque com água. Imagem retirada de AcuteArt. (<https://acuteart.com/marina-abramovics-rising-at-the-bangkok-art-biennale/>)

‘**The Chalkroom**’, é uma instalação de realidade virtual desenvolvida por Laurie Anderson e Hsin-Chien Huang, em 2017, e que venceu o prémio de “Best VR Experience” na 74<sup>a</sup> edição do Festival Internacional de Cinema de Veneza. Ao contrário da habitual estrutura interativa de realidade virtual baseada em missões, Chalkroom cria mundos exclusivos baseados em memórias e experiências pessoais da artista. Esta é uma experiência que oferece um espaço pensativo virtual que supera pensamentos, desconstrói perspetivas e muda sonhos à audiência. O espaço virtual (fig.12.a), composto por incontáveis quadros negros, está articulado como um labirinto, com oito salas diferentes completamente preenchidas com palavras, desenhos e animações a branco num

<sup>13</sup> Tradução de autor: “O que consegues fazer com o teu corpo, tu como avatar consegues fazer eternamente.”

fundo preto, que se destacam ainda mais com brilho. Cada área tem um tema diferente, e o utilizador pode navegar livremente entre os ambientes, interagindo com estes através de gestos, como na sala da escritura em que se formam palavras, ou através da voz, como na sala do som onde se criam objetos com capacidades sonoras (Markonish, n.d.). O utilizador desde o momento em que entra na experiência pode vaguear ou voar pelos aglomerados de histórias, sendo sempre envolto por murmúrios de Anderson no background, ultrapassando salas oníricas, assim como, se deixar cair por camadas de símbolos e números (fig.12.b). O objetivo da artista é “criar uma experiência que liberte” o utilizador (Channel, 2022).



**Figura 12.** The Chalkroom. a) Esquerda: Ambiente virtual; b) Direita: Utilizadores na sala da instalação. Imagens retiradas de Jie e Seesaw. (<https://www.shine.cn/feature/art-culture/1908240781/> <https://www.seesawmag.com.au/2020/02/out-of-minds-reach> )

‘**Microworlds, Sirens and Argonauts (MSA)**’ é uma instalação de realidade virtual com gráficos estereoscópicos interativos, criado por Águeda Simó em 1997-1999. Ao contrário das outras obras referenciadas anteriormente, não utiliza HMDs, mas sim projeções numa tela vertical (fig.13). A autora descreve a obra como uma viagem fantástica através de micromundos de inspiração submarina, conceitos matemáticos e geometria fractal, que crescem e se transformam aquando da interação do utilizador com os mesmos, revelando novos padrões, estruturas e sons. Simó introduz o conceito de ambientes virtuais com “paisagens narrativas com vida”, que permitem ao utilizador conceber o seu próprio mapa de navegação e construir os seus próprios modelos representativos que possam coexistir com a narrativa dos ambientes. Assim os utilizadores (“Argonautas”) navegam entre espaço e tempo, fazendo parte no complexo comportamento visual e aural dos ambientes (Simó, n.d.). Para ajudar na mobilidade dos utilizadores existem os atractores, que são como as sereias na famosa viagem grega de Jasão, embora neste caso, as sereias facilitam a navegação com os seus sons e magnetismo. Devido ao uso de som espacial, os utilizadores podem seguir “mapas musicais” virtuais que se vão alterando, devido ao comportamento e interação dos mesmos (Simó, 2006:62).



**Figura 13.** Microworlds, Sirens and Argonauts. Imagem retirada de Archive of Digital Art (<https://www.digitalartarchive.at/database/general/work/microworlds-sirens-and-argonauts.html>)

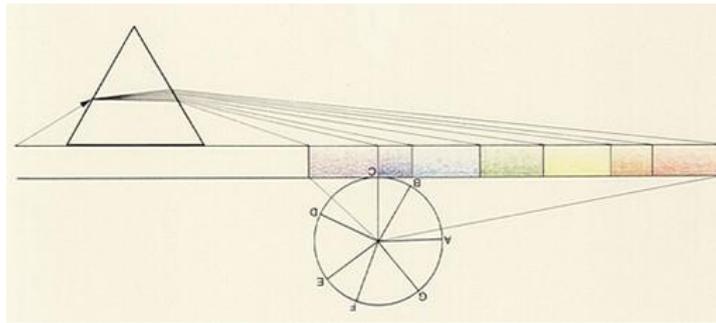
## Capítulo 2. Cor e Daltonismo

### 2.1 Cor e seus Sistemas

O tema da cor foi desde cedo, na história da humanidade, um objeto de estudo e análise. A cor, a luz e a visão têm sido profundamente estudados desde os tempos mais antigos, por Aristóteles, Platão, Euclides, entre outros ilustres. A partir do século XV, artistas, filósofos, físicos e matemáticos como Da Vinci, Alberti, Descartes, Kepler, Newton e Goethe também contribuíram para a análise deste tema. No século XX, Mondrian e Kadinsky também teceram importantes pontos de vista acerca da cor e das suas sensações. Com efeito, a sua definição foi sendo alterada e modificada de acordo com novas ideias e reflexões, e conseguimos atribuir uma vasta interdisciplinaridade dos estudos sobre a cor (Guimarães, 2004:3).

Aristóteles, definiu a cor como sendo originária do enfraquecimento da luz branca, e que todas as cores teriam a sua formação através da interação da luz com a escuridão, defendia também que a cor era uma qualidade do objeto e a que a luz torna essas cores aparentes (Guimarães, 2004:8; Monteiro et al., 2013:16). Através da relação entre a cor e a luz, surgiu um outro conceito, desta vez elaborado por Euclides enquanto estudava a refração da luz, a cor como qualidade da luz sobre os corpos (Guimarães, 2004:8).

Uns séculos mais tarde, Isaac Newton, empenhou-se no estudo dos fenômenos luminosos com base na luz solar. Publicou a sua obra em 1704, onde é apresentada a descoberta do mecanismo de coloração dos objetos através da absorção e da reflexão de raios luminosos, a quais denominou de cores permanentes dos corpos naturais, ou seja, ao contrário da cor como propriedade dos objetos, esta era uma propriedade resultante da combinação da reflexão e da absorção (Pedrosa, 2010:50; Guimarães, 2004:9). Newton, detetou a partir de um prisma, que a luz branca que incide sobre ele se divide num espectro de sete cores, ou seja, a luz branca era o resultado de uma mistura de diferentes tipos de raios, que eram refratados em ângulos ligeiramente diferentes, e que cada um desses raios produzia uma cor espectral, sendo as cores, o vermelho, o laranja, o amarelo, o verde, o azul, o anil e o violeta (fig.14) (Sena, 2009:9; Guimarães, 2004:9). Num segundo ensaio, fez com que as cores, resultantes da luz a atravessar o prisma, atravessassem um outro prisma, acabando por recompor a luz branca (Pedrosa, 2010:50).



**Figura 14.** Espectro visível de Newton. Imagem retirada e adaptada de Colorsystem ([https://www.colorsistem.com/?page\\_id=683](https://www.colorsistem.com/?page_id=683))

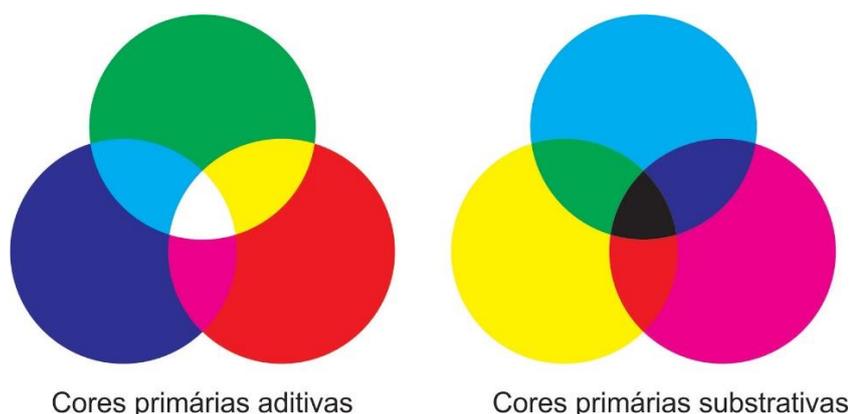
Um século depois das descobertas de Newton, Johan von Goethe, construiu toda uma teoria das cores com base na oposição às ideias newtonianas (Guimarães, 2004:9). Goethe julgava a cor como um efeito que, não obstante de depender da luz, não era a própria luz, alicerçando a sua teoria sobre a existência de três tipos de cor (Pedrosa, 2010:55; Rodrigues, 2019:32). O primeiro tipo, as cores fisiológicas, dependem da ação e da reação do órgão visual, e são influenciadas pela ação do cérebro, a luz percebida pelo olho humano. O segundo tipo, as cores física, derivam da reflexão dos objetos. E o terceiro tipo, são as cores produzidas através de substâncias orgânicas ou não orgânicas, os pigmentos (Rodrigues, 2019:32; Pedrosa, 2010:56). Apesar da oposição e contrariedade, tanto Newton como Goethe contribuíram imenso para o estudo dos fenômenos da cor e da luz.

Atualmente, afirma-se que as cores são estímulos que chegam aos nossos olhos a partir de ondas eletromagnéticas compreendidas na luz branca. Os objetos dispõem de propriedades materiais que absorvem, refratam e refletem os raios luminosos que incidem sobre os mesmos (Lotufo, 2008:1). A cor é uma informação visual, não tem existência material, e é uma sensação provocada pela ação da luz sobre o órgão da visão. Ou seja, a luz e o olho são elementos essenciais para o aparecimento da cor, enquanto o cérebro descodifica as informações recebidas (Pedrosa, 2010:17; Guimarães, 2004:12).

As sensações cromáticas são divididas em dois sistemas distintos, cores-luz, e cores-pigmento. A cor-luz é a radiação luminosa visível que tem como síntese aditiva (adição máxima de luminosidade) a luz branca. A luz solar é o melhor exemplo deste grupo, visto que reúne de forma equilibrada todos os matizes existentes na natureza (Pedrosa, 2010:17; Lotufo, 2008:1). Embora as radiações solares abranjam uma ampla área, a visão humana apenas alcança uma pequena faixa, denominada de luz visível, que se localiza entre os raios infravermelhos e os raios ultravioletas (Lotufo, 2008:2). Considera-se que a região visível do espectro está entre os 380nm e os 780nm (nanômetros) (Silveira, 2015:46). Neste grupo definem-se as cores primárias (fig.15.a) como sendo o vermelho, o verde e o azul, e a sobreposição destas dão resultado às cores secundárias amarelo (vermelho e verde), ciano (verde e azul) e magenta (azul e vermelho). As cores primárias, quando justapostas, resultam na luz branca (Lotufo, 2008:1; Silveira, 2015:50).

A cor-pigmento é a substância material contida na superfície dos objetos, que absorve, refrata e reflete os raios luminosos que difundem sobre eles. Ou seja, são todas as cores que observamos a partir da reflexão da luz sobre os objetos e ambientes. Este processo denomina-se de síntese subtrativa, esta pode ser entendida pelo acréscimo de pigmento que faz com que a tinta ou a cor dos objetos percam a capacidade de reflexão de luz (Lotufo, 2008:2; Pedrosa, 2010:17; Silveira, 2015:47). As cores primárias (fig.15.b) deste grupo são o ciano, o magenta e o amarelo, e as secundárias são o vermelho, o verde e o azul, e a adição e mistura das cores-pigmento resulta no preto (Lotufo, 2008:2; Silveira, 2015:48). Se bem que esta mistura de cores primárias não resulta, na realidade, em preto, mas sim em cinza, visto que é impossível, quimicamente, obter a cor preta (Silveira, 2015:49).

Tanto na cor-luz como na cor-pigmento, as cores primárias são consideradas como irreduzíveis, isto é, não podem ser formadas pela soma de outras cores. As cores primárias da cor-luz, são as secundárias da cor-pigmento, e as cores primárias da cor-pigmento são as secundárias da cor-luz, o que representa a relação de complementaridade entre as cores e estes esquemas (Lotufo, 2008:4).



**Figura 15.** Cores primárias. a) Esquerda: cor-luz; b) Direita: cor-pigmento. Imagem retirada e adaptada de Proidea (<http://proideablog.blogspot.com/2013/08/cores-primarias.html>).

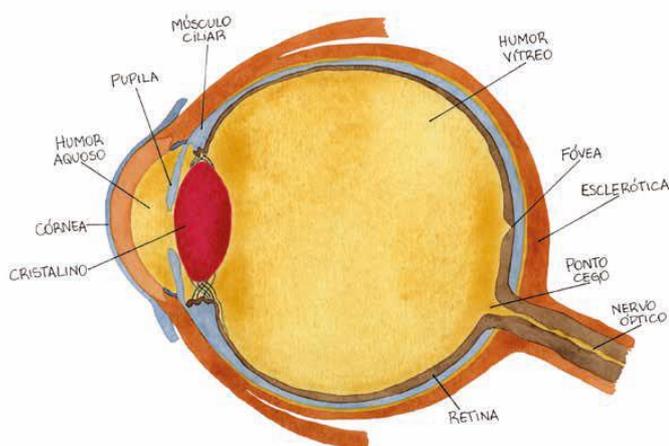
## 2.2 Visão

Como descrito anteriormente, os olhos fazem parte de um órgão essencial para a detecção da luz e da cor. A visão é um sentido que compreende olhos e cérebro, o que faz com que haja muita eficiência na avaliação, análise e correção de imagens visuais, informando através deles, a direção, a distância, a forma e a cor dos objetos que estão ao nosso redor (Silveira, 2015:80). Consequentemente, graças a todas as informações que nos passa, é, sem dúvida, o mais importante dos cinco sentidos do ser humano (Sena, 2009:16). O que faz com que conhecer o seu funcionamento fisiológico, seja importante para entender os dados interpretativos do mundo visual cromático (Silveira, 2015:80).

O Homem dispõe de um campo visual horizontal de aproximadamente 180 graus, graças aos globos oculares. Estes possuem formas esféricas, que são mantidas através da pressão dos líquidos existentes no seu interior. Estão alojados numa cavidade óssea denominada de órbita ocular, presos a três pares de músculos que são destinados a orientá-los, e revestidos por uma membrana chamada esclerótica que os protegem e os estabiliza (Silveira, 2015:81).

O olho (fig.16) possui uma lente, a córnea, cuja função é focar os estímulos luminosos. Esta está localizada na parte da frente do olho, por onde penetra a maior parte da refração da luz (Sena, 2009:17; Silveira, 2015: 81). É aqui que se encontra a íris, o disco pigmentado, e que no centro contém um orifício, a pupila. A íris é fotossensível e funciona um pouco como o diafragma de uma máquina fotográfica, ao comandar a abertura e o fecho da pupila (Sena, 2009:17; Silveira, 2015:82). Atrás destes, existe o cristalino, a lente responsável por focar as imagens e composta por uma substância fibrosa de várias camadas (Silveira, 2015:82).

O olho é alimentado pelos vasos sanguíneos existentes na coróide, uma camada que reveste a face interna da esclerótica. Esta é forrada por uma membrana nervosa fotossensível, a retina. É a parte do olho que transforma a energia radiante em impulsos nervosos, que são transmitidos ao córtex visual, no cérebro, através do nervo ótico. É composta por milhões de células altamente especializadas, que captam e processam a informação visual (Silveira, 2015:82; Rodrigues, 2019:27; Sena, 2009:18).



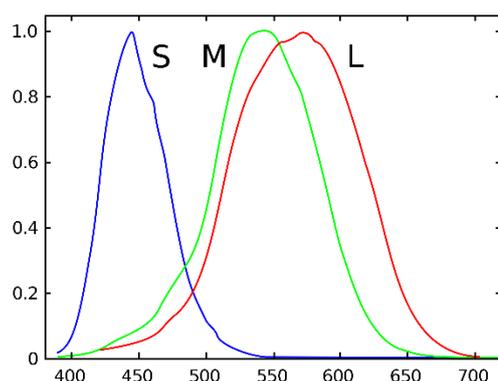
**Figura 16.** Olho Humano. Imagem retirada de “Introdução à teoria da cor”, by Silveira, 2015, UTFPR, p. 81.

No centro da retina, o centro do nosso campo de visão, encontra-se a fóvea. Esta é constituída única e exclusivamente pelos recetores visuais chamados cones. Num número aproximado de sete milhões, os cones são os responsáveis pela captação das cores e do contraste, e são destinados à visão fotópica, ou diurna. Quando estão localizados na fóvea, proporcionam a percepção de

pormenores, e quando estão dispersos pelo resto da retina, correspondem ao campo de visão periférica, a visão geral do ambiente (Silveira, 2015:82; Sena, 2009:18).

Além dos cones, existem também na retina, os bastonetes, que são os responsáveis pela percepção da luz. São aproximadamente 100 milhões de bastonetes que envolvem a retina, e destinam-se à visão escotópica, ou noturna, são insensíveis à cor e apenas permitem a distinção de tonalidades numa escala de cinzentos (Silveira, 2015:83; Sena, 2009:18).

Estes dois tipos de células formam dois sistemas visuais distintos. Em altos níveis de luz, natural ou artificial, os cones produzem uma visão cromática, operando eficientemente. Os bastonetes, pelo contrário, sendo mais sensíveis são saturados. Em baixos níveis de luz, não existe uma grande sensibilização dos cones, o que leva a não haver estímulo. Diversamente, os bastonetes sofrem mais estímulos, e encarregam-se de produzir a visão noturna (Silveira, 2015:83; Sena, 2009:18). A percepção da cor é efetuada por três diferentes tipos de cones. Cada um é sensível a um determinado comprimento de onda de luz (fig.17), e cada cor percebida é uma mistura de estímulos destes três cones. Estes três tipos de cones são denominados de cones L (cones vermelhos), sendo estes sensíveis à luz de comprimento de onda longos, de cones M (cones verdes), sensíveis à luz de comprimento de onda médio, e de cones S (cones azuis), que são sensíveis à luz de comprimento de onda curto (Ribeiro & Gomes, 2019:2; Sharpe et al., 1999:3). Os cones L, M e S, têm o auge da sensibilidade espectral, nos 560nm, 540nm e 440nm, respetivamente (Salih et al., 2020:1). A existência destes e o seu normal funcionamento permite a visão tricromata, ou a chamada visão normal (Sharpe et al., 1999:5). Os tricromatas percebem todas as cores do espectro visível, sendo capazes de distinguir até 700 tons de cor diferentes (Ribeiro & Gomes, 2019:2).



**Figura 17.** Comprimentos de onda de luz. Imagem retirada de Wikipédia ([https://en.wikipedia.org/wiki/LMS\\_color\\_space](https://en.wikipedia.org/wiki/LMS_color_space))

## 2.3 Daltonismo

Existem casos de pessoas que têm certos tipos de deficiência nos cones, o que causa dificuldade ou incapacidade em ver a cor e as suas possíveis diferenças, estas deficiências denominam-se de daltonismo, ou em inglês, *color vision deficiency* (CVD). Podem ocorrer devido a diversos fatores, porém, os casos mais comuns de daltonismo são devido a alterações genéticas (Ribeiro & Gomes, 2019:2). Aliás, é uma das alterações genéticas mais comuns observados em toda a população humana, e é um traço recessivo ligado ao sexo, ao cromossoma X (Pramanik et al., 2012:334). Aproximadamente 5% da população mundial sofre de daltonismo, sendo o rácio de incidência nos homens de 8% (um em 12), e das mulheres de 0.5% (um em 200) (Ribeiro & Gomes, 2019:1; Salih et al., 2020:1).

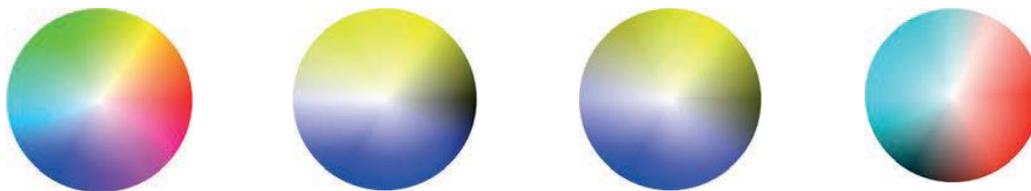
O daltonismo apresenta diferentes tipos e graus de severidade dependendo do tipo e da quantidade d células fotorrecetoras que sejam afetadas (Ribeiro & Gomes, 2019:1). Esta debilitação reduz o leque de cores visíveis, o que interfere com a interpretação de imagens, e consequentemente o processo de comunicação e interação entre seres humanos (*idem*).

Dependendo do número de canais afetados, podemos classificar o daltonismo em três categorias principais. Sendo a primeira, a tricromacia anómala, que resulta da anomalia de um dos tipos de cones. A curva de sensibilidade de um dos tipos de cones, altera a sua posição original, o que distorce a perceção da cor. Mesmo havendo funcionamento por parte dos três cones, estes formam combinações de cores que variam da perceção da cor por parte dos tricromatas normais (fig.18.a) (Ribeiro & Gomes, 2019:3; Birch, 2012:1; Chen et al., 2012:235). Outra categoria é a dicromacia, que resulta de um indivíduo apenas conter dois tipos de cones, ou seja, um tipo não existe ou não funciona. A perda de um deles reduz a visão fotópica a duas dimensões. Consequentemente, conseguem combinar todas as matizes espectrais apenas com duas variáveis, fazendo com que as cores percebidas sejam substancialmente reduzidas (Ribeiro & Gomes, 2019:3; Sharpe et al., 1995:5; Birch, 2012:1). E finalmente, existe a categoria da monocromacia. Neste caso, dois ou até três tipos de cone não funcionam ou não existem, a visão é puramente escotópica, limitada aos bastonetes, ou seja, apenas veem em tons de cinzento (Ribeiro & Gomes, 2019:3; Sharpe et al., 1999:5).

No caso de tricromacia anómala, pode-se verificar três tipos de anomalia. A protanomalia (protan) é a anomalia dos cones L, vermelhos. A deuteranomalia (deutan) é a anomalia dos cones M, verdes. E a tritanomalia (tritan) é a anomalia dos cones S, azuis. Estas anomalias podem ser ligeiras, moderadas ou severas (Ribeiro & Gomes, 2019:3; Chen et al., 2013:235; Salih et al., 2020:2; Birch, 2012:1).

No caso da dicromacia, na condição de haver deficiência total nos cones vermelhos, denomina-se protanopia (fig.18.b). A deficiência total nos cones verdes, denomina-se de deuteranopia (fig.18.c). E, por último, se houver deficiência total nos cones azuis, denomina-se de tritanopia

(fig.18.d). As pessoas que sofrem destas deficiências, não conseguem ver, respetivamente, a cor vermelha, a cor verde, a cor azul, e as misturas que as englobam (Ribeiro & Gomes, 2019:3; Chen et al., 2013:235; Salih et al., 2020:2; Brettel et al., 1997:2647).



**Figura 18.** Círculos cromáticos. a) Tricromacia; b) Protanopia; c) Deuteranopia; d) Tritanopia. Imagem retirada de “Contour Enhancement Algorithm for Improving Visual Perception of Deutan and Protan Dichromats” by Ribeiro e Gomes, 2019, p.79.

Para deteção destes problemas de visão, foram desenvolvidos ao longo dos anos diversos testes, uns mais simples outros mais complexos, com menor e maior grau de precisão. O teste Ishihara é um dos testes mais utilizados, e resume-se ao uso de placas pseudoisocromáticas cilíndricas, que contêm vários pontos de diferentes tamanhos e de cores ligeiramente diferentes, aparentemente de forma aleatória, e ainda aparecem números e linhas que o testado tem de distinguir, e escolher a opção correta. Este teste apesar de ser muito utilizado para identificar daltonismo vermelho-verde, não é capaz de distinguir entre deutan e protan, e não funciona para a deteção de casos tritan (Salih et al., 2020:2). Existem outros testes, como o FM 100 Hue, que conseguem diagnosticar todos os tipos de daltonismo. Nestes, o testado tem de organizar placas coloridas com base na sua matiz e intensidade. Pacientes que sofram de daltonismo têm dificuldades em discernir a ordem correta das placas (Salih et al., 2020:2). Um outro método de teste, é o uso de anomaloscópios. Estes utilizam dois manípulos para fazer a correspondência certa entre duas imagens, nas suas cores e iluminação. Apesar de ser mais difícil de utilizar, as leituras obtidas permitem a indicação precisa do tipo e do grau de daltonismo (Salih et al., 2020:2).

## Capítulo 3. Projeto Experimental

### 3.1 Conceito e Objetivos

O objetivo principal é criar ambientes virtuais que providenciem uma experiência imersiva no mundo da cor, que remetam à importância da cor como instrumento de comunicação, e as alterações cromáticas que ocorrem numa versão dicromata. Desta maneira, quer se dar a conhecer a realidade virtual e apresentar este meio de comunicação a quem não o testemunhou, enquanto se desenvolve uma experiência que estimule o interesse, através de momentos criativos que apelem ao entusiasmo. Além destes objetivos, pretende-se expor o daltonismo aos utilizadores, despertando a sua consciência perante o tema.

A ideia inicial do projeto era o desenvolvimento de ambientes virtuais abstratos que explorassem a cor, e os seus devidos significados, de forma a colocar o utilizador numa nova experiência cromática, onde iria estar perante variações de cor e contraste. Entretanto, enquanto se desenvolvia melhor esta ideia, especialmente através da pesquisa sobre a cor, surgiu o tema do daltonismo. Houve uma pesquisa mais alargada, que permitiu a uma readaptação da premissa inicial, construindo assim a base do conceito do projeto. Estudou-se a forma de como o projeto poderia incluir a questão do daltonismo, e primeiramente, o objetivo foi criar divisões limitadas a ‘quatro paredes’, como por exemplo, salas, quartos e escritórios, mas com uma índole surrealista. Quando se elaboravam testes no *showcase* (uma forma de exibir os exercícios realizados), devido à localização de certas composições, surgiu uma ideia de como organizar e projetar os cenários do projeto (ver p. 32).

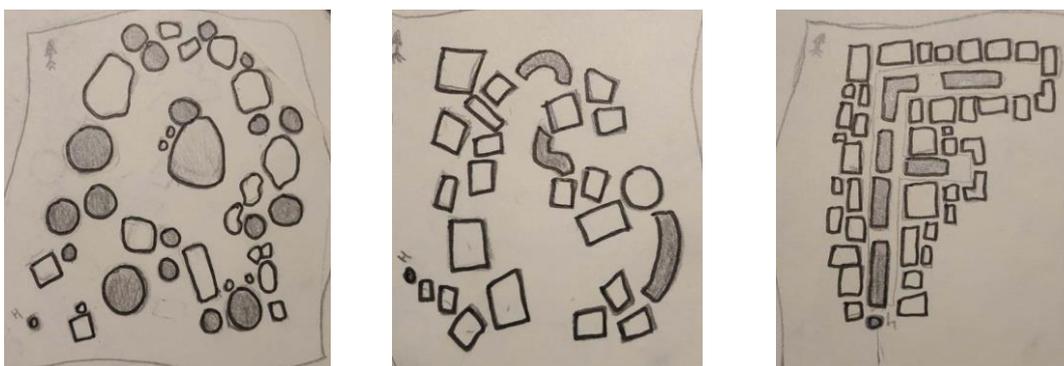
Em vez de se utilizar um espaço que confinasse o utilizador, e visto que, devido à situação pandémica atravessada recentemente, as pessoas já estiveram muito tempo restritas ao seu espaço doméstico, decidiu-se aproveitar da melhor maneira possível a liberdade que a tecnologia da realidade virtual promove. Em suma, em vez de se criar divisões, criaram-se ambientes virtuais mais alargados, que oferecessem ao utilizador a capacidade de se movimentar através dos cenários elaborados, apreciando a paisagem e a cor, ao mesmo tempo.

A perceção da cor é um fenómeno ótico, da mesma maneira que a reflexão da luz, sendo que esta acontece devido à forma como a luz incide sobre uma superfície, retornando ao ponto de origem. Quando o feixe de luz sofre reflexão numa superfície lisa e plana, surgem imagens que são denominadas de imagens virtuais. O melhor exemplo é o espelho, que reflete a nossa imagem, e resulta na nossa imagem virtual. Utilizou-se a base desta ideia para a criação do conceito do projeto, em que todas as áreas elaboradas, têm a sua versão original e uma versão refletida. Esta noção de reflexão, não se encontra apenas em termos visuais, mas também subjetivos, visto que todos os ambientes virtuais são reflexos das vivências, experiências e ideais do autor, e pensados

de forma a retratar assuntos e temas importantes para o mesmo, sem esquecer da importância da cor.

Nos ambientes virtuais são apresentados três tipos de daltonismo total, e de modo a entender melhor cada um, optou-se por desenvolver duas áreas por tipo de daltonismo total. Sendo assim, foram produzidas seis áreas a retratar a cor real, mais seis áreas refletidas, com as cores dicromatas simuladas. Duas das áreas serão focadas na protanopia, deficiência total dos cones vermelhos, outras duas serão destinadas à deuteranopia, deficiência total dos cones verdes, e finalmente, duas para a tritanopia, deficiência total dos cones azuis.

Consequentemente, o objetivo é criar cada área com um conceito próprio, variando de elementos, de significados, e de cor. Ora, como se trata de um só projeto, e de maneira a estar conectado, estabeleceu-se que cada ambiente virtual criado, através dos seus elementos, deveria criar uma letra. No fundo, trata-se de criar uma espécie de mapa de cada área, com o objetivo de formular a palavra Reflexo através das composições de objetos situados no cenário (fig.19).



**Figura 19.** Esboços dos mapas das áreas. Imagem de autoria própria.

Ou seja, a primeira área retratará um 'R', a segunda um 'E', a terceira um 'F', a quarta um 'L', a quinta um outro 'E', a sexta um 'X', e, finalmente, a sétima um 'O'. Em que as áreas 'R' e 'L' estarão encarregues da simulação da protanopia, as áreas 'E' da deuteranopia, e as áreas 'F' e 'X' da tritanopia. A área 'O' é a área comum, não tem uma versão refletida e é onde o utilizador aparece no momento em que inicia o aplicativo, onde pode escolher o mundo em que quer entrar.

Decidi não criar uma reflexão real entre as versões dos ambientes de cor normal e as versões de cor daltónica, para facilitar o nível de orientação dos utilizadores. Se se optasse por refletir as áreas todas, o senso de localização de quem experiencia os ambientes virtuais poderia se tornar confuso e enganador. Assim, ao optar por refletir apenas o lado visual, em vez de complicar o movimento dos utilizadores, não só fica mais fácil a orientação, como não existe uma preocupação maior para encontrar certas vias.

Ao longo dos ambientes virtuais, há caminhos e percursos, que ajudarão o utilizador a localizar-se e a locomover-se. Existem certos ambientes em que o trajeto é mais limitado, e outros em que

é mais livre, mas existe, em todos eles, um objetivo que o utilizador tem de alcançar, que é atravessar os portais, de maneira a teletransportar-se para as áreas refletidas cromaticamente.

### **3.2 Fases de Produção e Metodologias**

Para atingir os objetivos do projeto experimental, uma vez finalizada a pesquisa teórica sobre os conceitos e técnicas mais relevantes da RV, da cor e do daltonismo, foram aplicados vários métodos, como a análise de aplicativos de RV sobre a temática do daltonismo; o desenvolvimento do *showcase*; e experiências de utilizador que permitam a melhoria do projeto, através da procura de erros e sugestões.

Com vista a planificar da melhor maneira possível o desenvolvimento do projeto, pensou-se numa abordagem que incluisse vários momentos, desde a pesquisa de referências, prototipagem e a criação do *showcase*, à conceção dos ambientes virtuais, modelação 3D e testagens finais das áreas desenvolvidas. Consequentemente, a elaboração do projeto *Reflexo* conta com quatro fases de produção distintas.

Na primeira fase de produção, deu-se o momento de criação e desenvolvimento do conceito do projeto “Reflexo”, com pesquisa e estudo de referências de autores e artistas (Laurie Anderson, Char Davies, Marina Abramovic), enquanto se elaboravam testes e experiências, que se fundiram na criação do *showcase*.

Quando a parte concetual foi concluída, foi tempo de aplicar as ideias estudadas, numa segunda fase de produção. Desenvolveu-se assim a versão de cores tricromatas da primeira, da segunda e da terceira área do projeto experimental. Estas versões foram testadas, de forma a detetar, corrigir e prevenir erros encontrados.

Após a testagem, na terceira fase, desenvolveu-se a reflexão das três primeiras áreas. Aquando da conclusão das mesmas, foi altura de criar a quarta área, com a sua versão normal e a versão refletida. Seguiu-se uma outra fase de testes, para reparar certos problemas que foram encontrados.

A quarta fase de produção destinou-se à criação e desenvolvimento das duas versões cromáticas, da quinta e da sexta área, e efetuaram-se, novamente, testes em todas as áreas projetadas. Até ao momento estavam criadas as áreas designadas para a compreensão do daltonismo, e apenas faltava o desenvolvimento da área principal que serve de ponto de partida para a experiência interativa. Dada a sua conclusão, o projeto estava apto para experimentação.

### 3.2.1 Casos de Estudo

De modo a criar um projeto inovador, experimentaram-se aplicações de realidade virtual que adereçam o problema do daltonismo. Assim, através da sua exploração e análise, conseguiu-se desvendar certos aspetos, e desenvolver um projeto diferente dos demais.

#### 3.2.1.1 Experience: Colorblindness

*Experience: Colorblindness* é uma aplicação de realidade virtual, desenvolvida por Jan Horský, que permite aos utilizadores perceber e empatizar a questão do daltonismo utilizando como interface visual um capacete. A experiência mostra e explica quatro tipos de daltonismo — protanomalia, deuteranomalia, tritanomalia e monocromapsia— em três ambientes diferentes e contém um mini jogo que demonstra a dificuldade de ir às compras e oferece também uma experiência em que o utilizador é capaz de pintar.

Ao iniciar o aplicativo, o utilizador é transportado para uma zona principal, limitada a quatro paredes, e rodeado de certos elementos tridimensionais que se assemelham a modelos heliocêntricos. O usuário apresenta-se à frente de uma representação de um ecrã que transmite uma mensagem de boas-vindas e que se transforma no menu principal, onde o utilizador pode escolher as diferentes opções, como o modo de experiência completa, a cena do jardim (fig.18), a cena da loja (fig.19) e a cena do museu (fig.20), um atelier de pintura (fig.21), e dois testes de daltonismo (Ishihara e FM 100 Hue) (fig.22). Existem também opções de customização das mãos virtuais, mudança de cor e de tamanho. Surge também um pequeno robô voador, que se apresenta como Obee e serve como guia.

Ao escolher o modo de experiência completa, o ecrã do menu passa a mostrar um gráfico que demonstra as três ondas de comprimento de luz, L, M e S, enquanto Obee, o guia, anuncia uma pequena explicação do daltonismo. De seguida o utilizador é transportado para um ambiente de jardim (fig.20), com elementos como flores, bancos e rochas, enquanto Obee apresenta o problema da deuteranomalia e explica ao utilizador que pode alterar a intensidade da anomalia através de um menu flutuante na sua pulseira, fazendo com que este consiga perceber o ambiente com diferentes tons. O utilizador consegue, ao rodar o corpo e a cabeça, perceber o ambiente, embora não se consiga movimentar no espaço virtual. Ao finalizar a inspeção, pode seguir em frente para uma outra área do jardim, dedicada à protanomalia, seguidamente, para outra área do jardim, onde percebe a tritanomalia. E no fim, existe ainda mais uma área dedicada à monocromapsia.



**Figura 20.** Experience: Colorblindness. Ambiente virtual do jardim. Imagem retirada de Steam. ([https://store.steampowered.com/app/979100/Experience\\_Colorblindness/](https://store.steampowered.com/app/979100/Experience_Colorblindness/))

Após a passagem pelo jardim, o utilizador é enviado para uma loja de fruta (fig. 21), um ambiente que serve de mini jogo, em que o objetivo é escolher citrinos de acordo com os pedidos de Obee, enquanto se vivencia a simulação da deuteranopia.



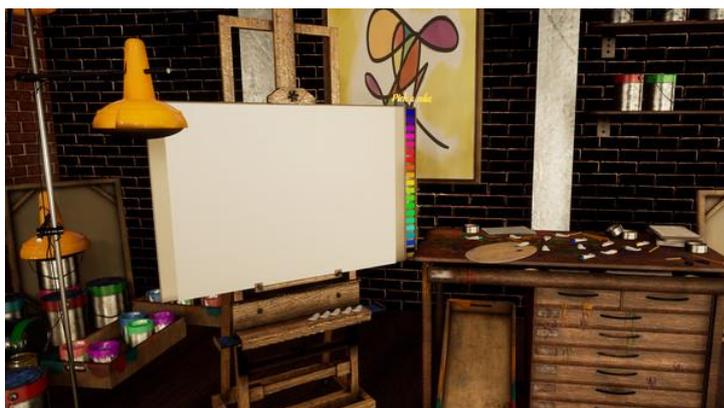
**Figura 21.** Experience: Colorblindness. Ambiente virtual da loja. Imagem retirada de Steam. ([https://store.steampowered.com/app/979100/Experience\\_Colorblindness/](https://store.steampowered.com/app/979100/Experience_Colorblindness/))

Ao concluir o desafio, o utilizador é transportado para o ambiente do museu (fig.22), onde tem a capacidade de se movimentar, através de teletransportes, e de escolher os diferentes tipos de daltonismo, enquanto aprecia as obras que estão em exposição. Ao finalizar a experiência, volta para a zona principal, podendo escolher de forma individual os três ambientes no menu.



**Figura 22.** Experience: Colorblindness. Quadros com obras na área do museu. Imagem retirada de Steam. ([https://store.steampowered.com/app/979100/Experience\\_Colorblindness/](https://store.steampowered.com/app/979100/Experience_Colorblindness/))

Se escolher a opção do atelier (fig.23), o utilizador é transportado para um ambiente com várias obras, telas e tintas espalhadas. À sua frente, existe uma tela em branco, onde pode desenhar e pintar, enquanto experiencia o tipo de daltonismo que escolher. Ao concluir o desenho, pode conferir as diferenças de cor entre a visão dicromática e a visão tricromática.



**Figura 23.** Experience: Colorblindness. Atelier e tela em branco. Imagem retirada de Steam. ([https://store.steampowered.com/app/979100/Experience\\_Colorblindness/](https://store.steampowered.com/app/979100/Experience_Colorblindness/))

Se o utilizador decidir escolher o teste Ishihara, é transportado para uma sala em tons de branco, que contém um ecrã que vai exibindo as placas de Ishihara, onde ele tem de escolher as opções que consegue perceber. No final do teste é apresentado o resultado. Se optar pelo teste FM 100 Hue (fig. 24), o utilizador vê-se perante um tabuleiro com variações de cores, e tem de organizar as cores da maneira correta. Mais uma vez, o resultado aparece no final.



**Figura 24.** Experience: Colorblindness. Teste FM 100 Hue. Imagem retirada de Steam.

([https://store.steampowered.com/app/979100/Experience\\_Colorblindness/](https://store.steampowered.com/app/979100/Experience_Colorblindness/))

É uma aplicação desenhada para apresentar os diferentes tipos de daltonismo, totais e parciais, mas apesar de demonstrar muito bem a forma como a visão é alterada, através da modificação da barra de intensidade, a questão da mobilidade do utilizador é um aspeto menos positivo. Em vez de se deslocar através dos ambientes, o avatar só se move através de teletransportes, o que faz com que a experiência do utilizador não seja a mais natural, especialmente, quando nem todas as áreas são possíveis de se deslocar.

### 3.2.1.2 ColorVisionVR

*ColorVisionVR* é uma aplicação RV desenvolvida por Tiffany Raber, que ajuda a personalizar o problema do daltonismo. Uma experiência interativa que explora oito diferentes tipos de daltonismo que ocorrem no olho humano.

Logo que o utilizador coloca o HMD e inicia este aplicativo, é transportado para um espaço, cilíndrico e escuro, representativo do mundo celular, que contém o menu (fig.25a). Este é constituído por 8 opções, que são representações de cones vermelhos, verdes, azuis e bastonetes, e o utilizador pode selecionar qualquer um deles para entrar no ambiente virtual. Estas opções são, monocromacia, acromatopsia, tritanopia, deuteranopia, protanopia, tritanomalia, deuteranomalia e protanomalia, que contém uma pequena informação acerca das células fotorreceptoras afetadas, cones e bastonetes (fig.25b).



**Figura 25.** ColorVisionVR. a) Menu Inicial; b) Informação celular. Imagem retirada de Onkka.

(<https://healthiar.com/colorvisionvr-visualizes-color-blindness>)

Ao escolher qualquer uma das opções, o utilizador é transportado para uma sala (fig.26a), que tem uma mesa com uma fruteira e um vaso com flores. Existem oito quadros afixados nas paredes com as diferentes cores do arco íris. De notar que o tipo de daltonismo escolhido deturpa a cor original dos quadros e dos objetos em cima da mesa. O utilizador pode movimentar-se pela sala, deslocando-se até aos elementos do ambiente, e interagir com as frutas e as flores. Pode, também, utilizar um comando gestual para mudar a perceção da cor, mudando das cores dicromatas para as cores tricromatas, para se aperceber das diferenças. Existe um menu flutuante (fig.26b) que contém informações relativas ao tipo de daltonismo escolhido, o nome, uma breve descrição, e um gráfico com a simulação das sete cores percebidas, e ainda um botão de retorno para a sala principal.



**Figura 26.** ColorVisionVR. a) Sala virtual; b) Menu de informações. Imagens retiradas de

Onkka (<https://healthiar.com/colorvisionvr-visualizes-color-blindness>)

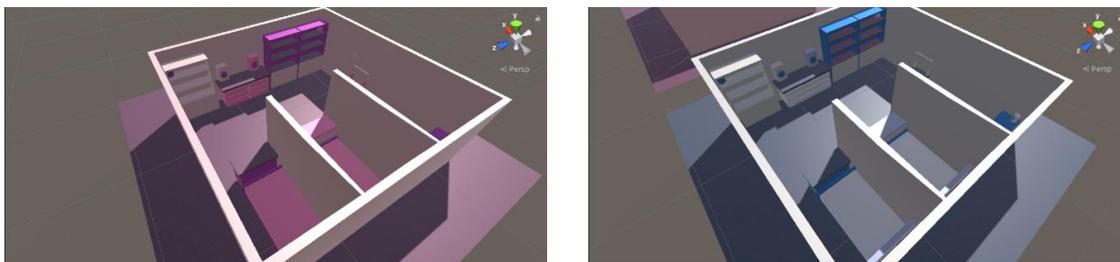
Nesta aplicação, ao contrário da outra, já existe a possibilidade de o utilizador se deslocar pelo ambiente virtual, explorando e visualizando os elementos expostos, e se quiser, pode alterar a vista dicromata para tricromata ao fazer um gesto simples com o controlador. Um aspeto negativo é o facto de ser sempre a mesma sala para todos os tipos de daltonismo, e ao não haver uma variedade de ambientes virtuais torna a experiência do utilizador monótona.

### 3.2.2 Showcase

Numa tentativa de desbloqueio criativo de maneira a perceber como se iria realizar o projeto, e também de demonstrar como este iria funcionar, decidiu-se criar um *showcase*, com o objetivo de apresentar e exibir os exercícios que foram elaborados durante a fase de experiências. Com esta exibição, tornou-se mais fácil, para o autor e para a sua orientadora, notar possíveis rumos e opções que se poderiam seguir no projeto.

Os exercícios elaborados serviram como momentos de prática, onde se desenvolveram vários objetos em três dimensões, através do software de modelação, Blender, de maneira a aprender mais aprofundadamente modelação computacional.

Foram modelados vários elementos e objetos sem nenhuma importância específica, visto que na altura, serviram apenas para testar os próprios limites do autor, sendo alguns objetos de maior complexidade e outros mais simples. Desenvolveram-se salas com estes objetos, de modo a representar a ideia inicial, formando uma reflexão cromática (fig.27). Foram também elaboradas certas composições geométricas, com o propósito de criar uma confusão visual cromática, servindo para perceber melhor a diferença entre as cores vistas pelos tricromatas e pelos dicromatas.



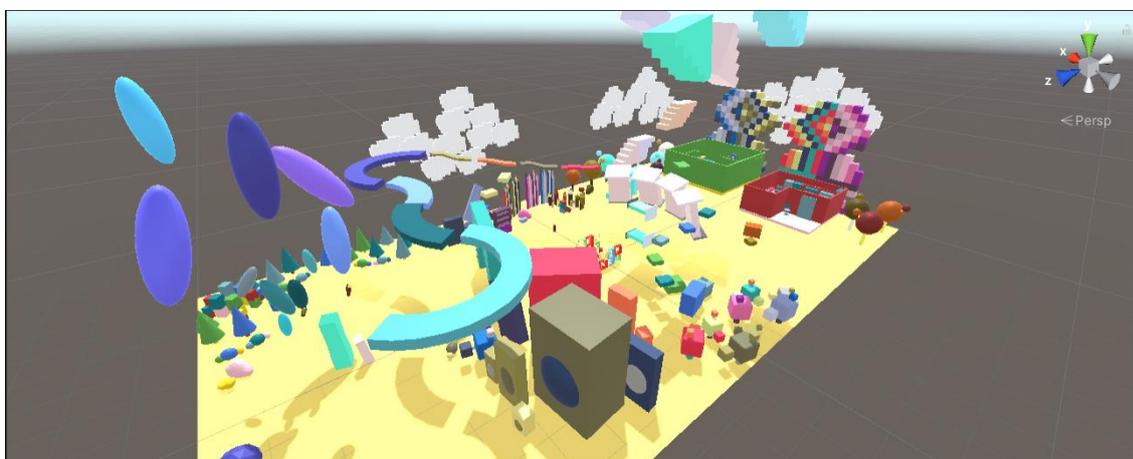
**Figura 27.** Testes de salas. a) Esquerda: versão tricromata; b) Direita: versão dicromata. Imagem de autoria própria.

Com o intuito de compreender e demonstrar os exercícios elaborados, criou-se, através do software *Unity*, um ambiente virtual que os contivesse a todos num só lugar, o *showcase* (fig.28). Devido à facilidade de manipular os cenários e os ambientes que o *Unity* oferece, foram colocados todos estes elementos de forma aleatória no espaço de trabalho. Esses objetos colocados foram duplicados para dar a entender a ideia da reflexão da cor. Um *set* tem as cores ‘normais’ e outro *set*, a simulação das cores daltónicas. Acontece que, a aleatoriedade de como foi concebido o cenário do *showcase*, e apenas com o intuito de criar um espaço que desse vontade de explorar e aventurar, foi um momento determinante para o resto do desenvolvimento do projeto Reflexo.



**Figura 28.** Modelos elaborados no *showcase*. Imagem de autoria própria.

Num primeiro momento, iriam-se desenvolver salas limitadas que serviriam de expositores do daltonismo, porém, devido a certas composições que se formaram no cenário do *showcase* (fig.29), pensou-se na forma em como se podia utilizar estes exemplos para formarem um percurso, que permitiria ao utilizador vaguear pelo ambiente, sem estar recolhido num espaço demasiado limitado. Sendo assim, ponderou-se uma forma de utilizar estas composições de maneira a desenvolver os mapas dos cenários do projeto, chegando à conclusão que se deveriam formar as letras da palavra Reflexo, numa vista de topo.



**Figura 29.** *Showcase*. Perspetiva dos elementos constituintes. Imagem de autoria própria.

### 3.2.3 Conceção dos Ambientes Virtuais: Desenho, Imersão, Presença e Interatividade

O projeto Reflexo, contém uma linha narrativa que é construída pelo utilizador. Dando a hipótese de escolha de como vai ser feita a aventura, existem portais que ao serem atravessados, servem de momento de modificação dos ambientes virtuais alterando a posição do utilizador. O usuário pode movimentar-se pelos ambientes criados, explorando o cenário e os elementos desenvolvidos, havendo certos elementos nos AV que podem ser agarrados e manipulados, embora este não seja o foco da experiência. Há sete ambientes virtuais: o primeiro é constituído por seis portais que

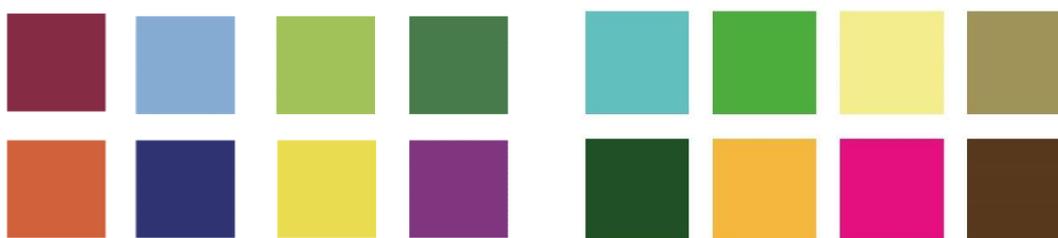
são o acesso aos outros seis ambientes, a Área Comum; o segundo é a representação de um Bosque Gigante; o terceiro corresponde às Nuvens Mágicas; o quarto é Mundo Muitos Mundos; o quinto retrata um Jogo; o sexto simboliza uma Cidade do Progresso; e o sexto corresponde a uma Ilha do Tesouro.

O processo de desenvolvimento seguiu sempre as mesmas guias para todos os ambientes virtuais, começando com a criação de desenhos conceituais (fig.30). Cada área tem o seu desenho conceitual, e foi uma medida necessária para haver uma maior aproximação entre o imaginário e o real, com o objetivo de se conseguir definir e exprimir certas ideias. Desta forma, conseguiu-se criar desenhos a partir de imagens mentais que serviram de linhas base para o desenvolvimento das áreas, posteriormente, no *Unity*. Cada um dos desenhos foi feito em alturas distintas, com base na planificação do desenvolvimento de cada ambiente.



**Figura 30.** Desenhos conceituais. a) Esquerda: primeira área; b) Direita: segunda área. Imagens de autoria própria.

No momento após a conclusão dos desenhos conceituais, foram elaboradas pesquisas cromáticas, de maneira a escolher paletes de cores que fossem ao encontro, da melhor maneira possível, dos diferentes tipos de daltonismo. Tendo em conta as dificuldades de distinção de certos tons, por causa da deficiência, houve uma necessidade de colocar estes tons juntos, de maneira que as pessoas que experienciarem, tenham, não só, dificuldade em perceber estas diferenças, nos ambientes daltônicos, mas também se apercebam das desigualdades entre a visão normal e a visão daltónica. Foi feita uma pesquisa para cada tipo de dicromacia, resultando em duas paletes para as duas áreas protan (fig.54 e 57), duas paletes para as deutan (fig.53 e 56) e mais duas outras paletes para as tritan (fig.55 e 58).



**Figura 31.** Paletes cromáticas. a) Esquerda: Paleta da segunda área; b) Direita: paleta da sexta área. Imagens de autoria própria.

Durante a pesquisa teórica, soube-se que neste momento, ainda é impossível fazer uma simulação cem por cento exata das variações cromáticas, mesmo havendo muitas formas e mecanismos de o fazer. O objetivo deste projeto não é fazer uma simulação cromática absolutamente exata, mas sim, mostrar uma forma de aproximação a estes transtornos, de maneira a expor os utilizadores às diferenças que existem, mesmo não estando integralmente fiel. Numa entrevista a um professor da área da optometria, foi sugerido, pelo mesmo, a seguir um modelo de simulação encontrado na web, visto que, para o efeito pretendido, servia da mesma maneira.



**Figura 32.** Paletes cromáticas daltónicas. a) Esquerda: paleta da segunda área (deutan); b) Direita: paleta da sexta área (tritan). Imagens de autoria própria.

De forma a criar um projeto imersivo, foi pensado qual sistema de realidade virtual é que deveria ser utilizado. Sem grandes dúvidas, chegou-se à conclusão que se iria realizar o projeto com recurso ao HMD, visto que, para além de ser o sistema imersivo mais acessível, é o que tem mais bases desenvolvidas para a criação artística. Desta maneira, foi utilizado o modelo *Oculus Rift S* (fig.33), como sistema de RV, para o desenvolvimento do projeto Reflexo.



**Figura 33.** Oculus Rift S. Imagem retirada de Amazon. (<https://www.amazon.com/Oculus-Rift-PC-Powered-Gaming-Headset-pc/dp/B07PTMKYS7>)

Em termos do sentido de presença, tentou-se criar uma experiência que conseguisse fazer com que os utilizadores sintam os ambientes como espaços visitados, mas a verdade é que é um fator psicológico. Dado que é uma resposta individual e subjetiva, pode haver utilizadores que se sintam mais presentes nos ambientes virtuais elaborados do que outros.

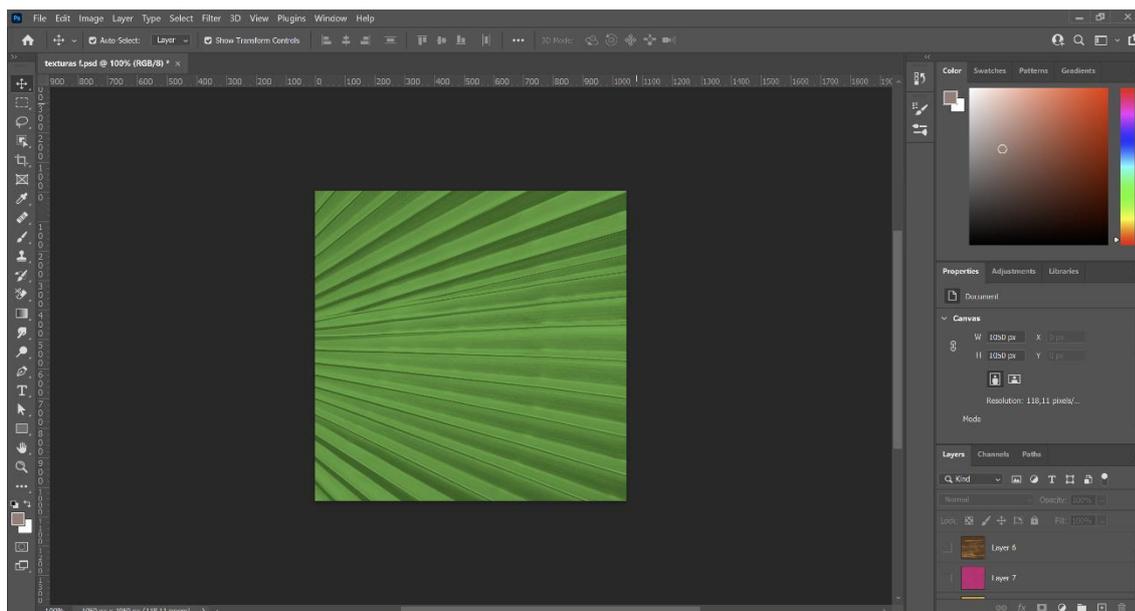
De modo a alcançar os diferentes graus de interatividade, o utilizador pode desfrutar da sua aventura virtual com os seus movimentos e ações a suceder de forma imediata. Para conseguir que a experiência seja fluída, foram utilizados certos mecanismos que estão presentes no aplicativo do *Unity*, sem negligenciar certos esforços técnicos na produção. Por exemplo, o método *lowpoly* na modelação, permite poupar nos polígonos necessários para a renderização dos elementos 3D, e a criação de animações simples, permite alcançar uma experiência fluída, com uma velocidade de resposta capaz de conferir uma alteração instantânea dos ambientes virtuais.

Para questão do mapeamento da interatividade é muito importante que haja concetualização do mapeio, ou seja, que as ações do utilizador tenham sentido com respeito às respostas do sistema. Por exemplo, ao atravessar os portais é importante que cada um deles esteja bem sintonizado, ou então corre-se o risco de o utilizador ser teletransportado para uma área errada. Ao atribuir corretamente o mapeio necessário, através de linhas de código, o resto foi fruto do uso de mecanismos do *Unity*, que contém certas especificações técnicas que ajudam os criadores a preocuparem-se apenas com os elementos criativos. Assim sendo, o próprio motor de jogo ocupa-se de conferir o mapeio das ações do utilizador, coordenando os seus movimentos. Os controlos empregues são de simples aprendizagem e manuseio, sendo que o manípulo esquerdo serve para rotacionar horizontalmente a perspetiva do utilizador, e o manípulo direito para deslocar o avatar do utilizador. O gatilho direito serve para agarrar os elementos que podem ser manipulados.

### **3.2.4 Implementação e Técnicas**

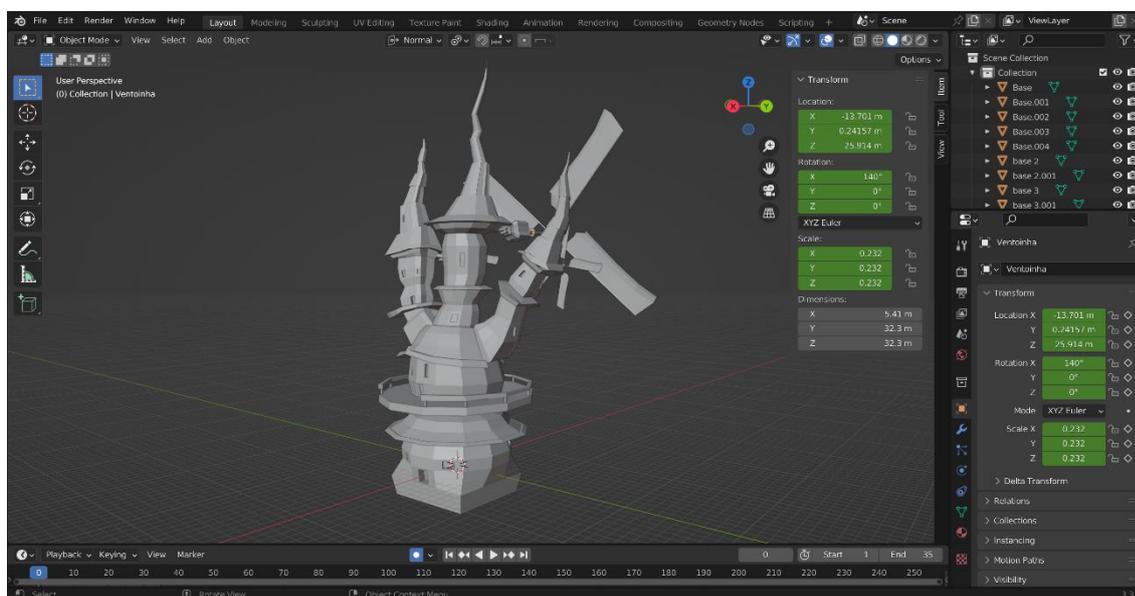
Para a implementação foram utilizados três softwares distintos: um programa para a criação de texturas, um programa para a criação de modelos e animações 3D, e um motor de jogos para a integração de todos os elementos – incluída a programação necessária para a interatividade e os *drivers* para as interfaces físicas – e a iluminação dos cenários.

As texturas foram desenvolvidas no *Photoshop* (fig.34), com recurso a variados pincéis, de modo a criar texturas únicas e singulares, com o único propósito de as incorporar nas áreas pretendidas.



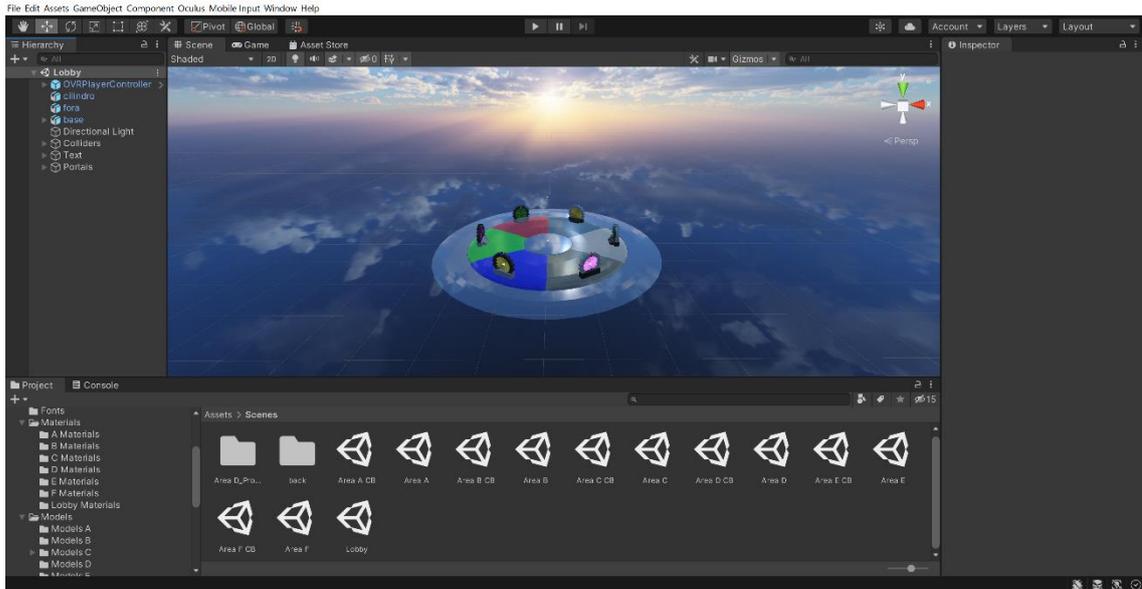
**Figura 34.** Photoshop. Imagem de autoria própria.

Utilizou-se o aplicativo *Blender* (fig.35) para a concretização dos modelos 3D e animações, onde foram criados vários modelos como teste, até chegarem à forma pretendida para a aplicação dos mesmos nos AVs.



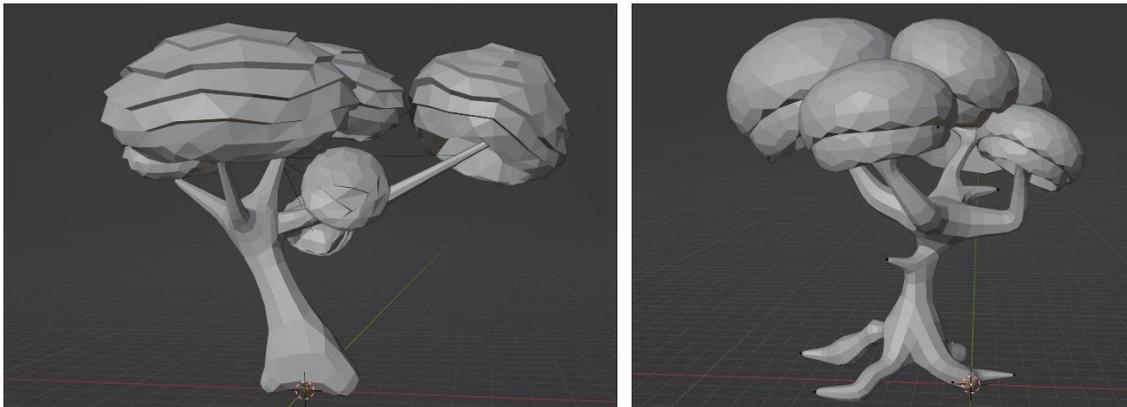
**Figura 35.** Blender. Imagem de autoria própria.

O motor de jogo escolhido para a integração de todos os elementos e para desenvolvimento do projeto foi o *Unity* (fig.36).



**Figura 36.** Unity. Imagem de autoria própria.

Ao longo do período de modelação, e numa tentativa de reduzir o tamanho final do projeto, foi utilizado a técnica *lowpoly*, ou seja, os modelos desenhados foram feitos com o mínimo número de polígonos de maneira a simplificar não só a modelação em si, mas também criar uma linguagem visual compatível para todas as áreas. E seguindo o mesmo pensamento, foram criadas animações em apenas alguns modelos, no *Blender*, para dar mais movimento e ânimo aos cenários, sem pesar demasiado no tamanho do projeto. Quando alguns modelos 3D estavam concretizados, fez-se a exportação destes para o motor de jogos *Unity*, para testar se estava de acordo com o plano. Ao confirmar que estava tudo bem, continuou-se a modelação dos restantes objetos e a sua exportação para o desenvolvimento dos ambientes no *Unity*.



**Figura 37.** Modelos 3D. Imagem de autoria própria.

Ao iniciar o desenvolvimento no *Unity*, foi necessário configurar certas definições, como instalar *plug-ins* e *assets* (programas que adicionam mais funções), que permitem o uso de tecnologia de realidade virtual no aplicativo, como importar um controlador de jogador de RV. Com este controlador, pode-se utilizar o capacete e os controladores de realidade virtual para interação nos

ambientes virtuais. Após a configuração necessária, começou-se a criação de terrenos e de bases para os cenários concetualizados, a partir de *assets*, pacotes que permitem várias formas de modelação, de modo a possibilitar uma transformação que vá de encontro às ideias concetualizadas. Quando os terrenos estavam conforme o planeado, deu-se a fase de colocação e organização dos modelos e elementos 3D nos cenários do *Unity*, arrastando os elementos de livre vontade até encontrar a posição certa para cada um deles. Existem ambientes com mais modelos repetidos do que outros, mas de forma a não haver uma repetição forçada, estes foram alterados, ao aumentar e reduzir o seu tamanho ou a rotacioná-los.



**Figura 38.** Planeamento inicial da segunda área. Imagem de autoria própria.

Nesta altura, o cenário dos AVs estava branco, tanto o terreno como os modelos, fazendo com que houvesse o momento de criação de texturas, de forma a dar cor e vida aos ambientes virtuais. Para cada textura criada havia duas variantes, uma de cor normal, e outra a representar o tipo de daltonismo. Ao concluir as texturas, estas foram exportadas para o *Unity*, onde se criaram materiais que continham as texturas para depois serem utilizadas para colorir os elementos 3D. De maneira às texturas se aplicarem de forma correta aos modelos elaborados, fez-se um *unwrap* da *mesh* no *Blender* (representação plana da superfície dos modelos 3D), assim, havia uma uniformização da textura ao modelo, de modo a evitar texturas desalinhadas. Com este passo, todas as texturas colocadas nos elementos do *Unity* ficaram retificadas, e os ambientes virtuais ganharam uma nova vivacidade.



**Figura 39.** Texturas da segunda área. Imagem de autoria própria

Após a texturização do cenário, veio a preocupação com a luz ambiente, e a colocação de céus que fossem de acordo com as ideias gerais dos ambientes. Para não haver disparidade entre a cor tricromata e dicromata, a luz ambiente utilizada foi uma luz totalmente branca, conservando assim a propriedade total das cores e texturas, escolhidas e produzidas. Contudo, em certos cenários foram colocados focos de luz amarela, não com o objetivo de iluminar o cenário, mas sim para criar um ambiente místico. Por outro lado, o cenário base do *Unity* vem com um *skybox* predefinido, ou seja, o céu do cenário é comum a todos os projetos realizados no programa. De modo a evitar vulgaridades, foram escolhidos *skyboxes* que fizessem jus aos ambientes virtuais criados, e que servissem também para um maior envolvimento do utilizador nos determinados espaços. Os *skyboxes* utilizados foram descarregados de *assets* na *asset store* do *Unity*.

De modo a que a experiência do utilizador enquanto explora os ambientes não tivesse resultados catastróficos, como cair das zonas do AV ou entrar dentro dos modelos 3D, foram colocados *borders* e *colliders*, objetos invisíveis que fazem com que os utilizadores não consigam entrar em áreas que não devem, passar zonas que não interessam ou cair do terreno predefinido, limitando assim a sua experiência, de modo a que este apenas aproveite para observar e admirar os mundos virtuais.

No momento em que as áreas tricromatas estavam finalizadas, ainda precisava de haver as suas versões refletidas. Para isto, bastou criar uma réplica da cena do *Unity*, e alterar as texturas de cor normal para a sua versão daltónica de acordo com o tipo de dicromacia que se queria explorar. Deste modo, poupou-se o trabalho de criar novamente a mesma área, alterando apenas alguns pontos necessários.

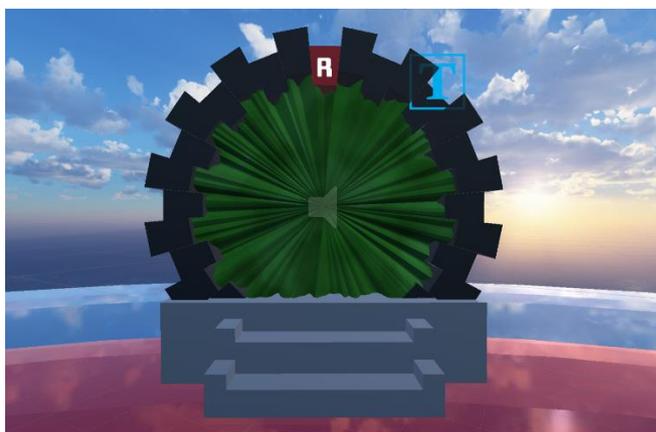


**Figura 40.** Texturas da segunda área, versão deuteranopa. Imagem de autoria própria.

Para acrescentar uma nova dimensão à experiência e torná-la mais atrativa, foram aplicados sons ambiente e efeitos sonoros em todos os ambientes virtuais. Visto que o capacete de RV contém colunas, o som cria uma maior conexão e profundidade na experiência que os utilizadores têm. Ao tornar os efeitos sonoros em som espacial, permite que o utilizador perceba de que direção o

som está a vir, e consoante a sua aproximação à origem, maior é o volume. Assim, existe também uma estimulação auditiva, além de visual, para o utilizador vagar pelos ambientes virtuais.

Um dos aspetos mais importantes do desenvolvimento do projeto é a criação de uma experiência fluída, ao ligar a área comum às diversas áreas e vice versa, por meio de portais, através de momentos de teletransporte. Os ambientes virtuais realizados no *Unity* não permitem a deslocação do utilizador entre todos eles, uma vez que apesar de estarem no mesmo projeto, estão separados em cenas diferentes. Para tal acontecer, foi preciso criar linhas de código que permitem que o controlador do jogador RV, ao colidir com o modelo do portal, acione uma outra cena no *Unity*. Ou seja, o utilizador no meio da sua experiência, ao passar por um portal é automaticamente transportado para uma determinada área. Cada portal tem um código próprio que permite uma ligação entre eles, que faz com que qualquer um tenha destino em determinada área.



**Figura 41.** Modelo 3D do Portal. Imagem de autoria própria.

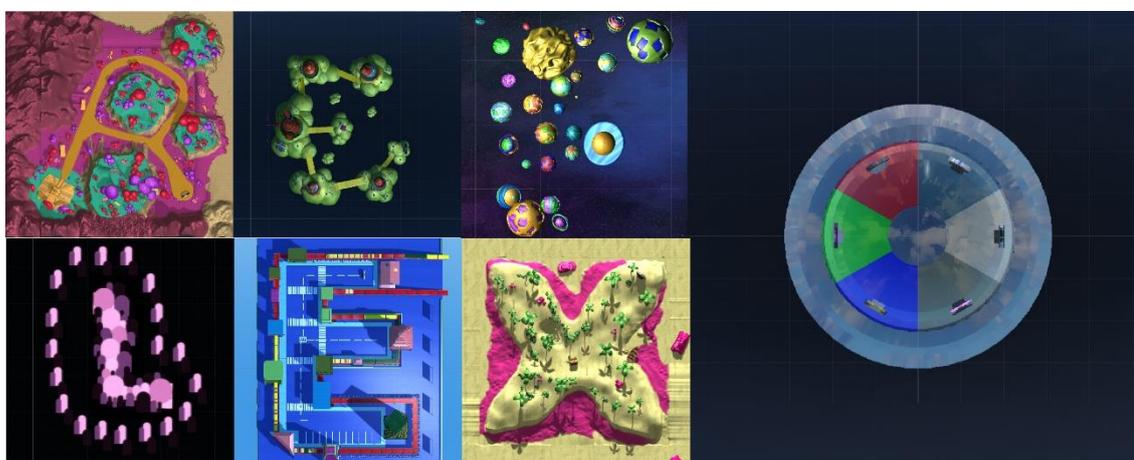
Ao atravessar o portal, o utilizador é transportado para a versão tricromata da área correspondente ao portal que escolheu, onde tem início a sua experiência visual naquele ambiente virtual. Após a deslocação nessa versão, e de maneira a transpor para a versão dicromata, o utilizador deve ir de encontro a um objeto específico em cada área, que se encontra destacado através de partículas brilhantes que são emitidas pelos mesmos. Estas partículas servem apenas para a identificação destes elementos de transporte, de modo a conduzir os utilizadores até aos mesmos.

Feito o transporte para a versão dicromata, existe então a continuação da experiência visual do utilizador, o momento onde este se depara com a disparidade cromática entre ambas as versões. De modo a concluir a experiência, o utilizador deve seguir caminho até ao portal de onde o mesmo surgiu na versão tricromata, visto que é o ponto de transporte para a Área Comum. Caso o utilizador se engane, e entre novamente na mesma área, existe uma forma de voltar para a Área Comum, que é atravessar o portal que se encontra no ambiente virtual.

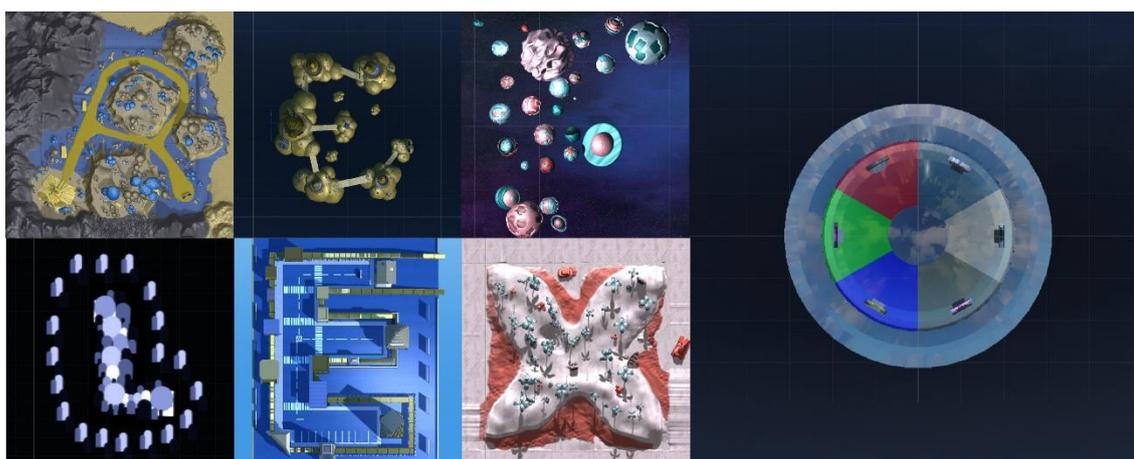
A criação de portais teve a sua inspiração em muitas obras de ficção científica e jogos, e com a tecnologia da realidade virtual torna-se relativamente simples de usar a habilidade do teletransporte. Visto que a própria tecnologia é capaz de nos leva para mundos virtuais, seria interessante colocar momentos de teletransporte no projeto Reflexo que levem o utilizador a mais mundos virtuais.

### 3.2.5 Descrição dos Ambientes Virtuais e Experiências dos Utilizadores

O projeto está dividido em seis área e suas respectivas reflexões, formando ao total doze áreas em que o utilizador pode navegar e explorar, além da área comum.



**Figura 42.** Vista de topo das áreas elaboradas na versão tricromata. Imagem de autoria própria.

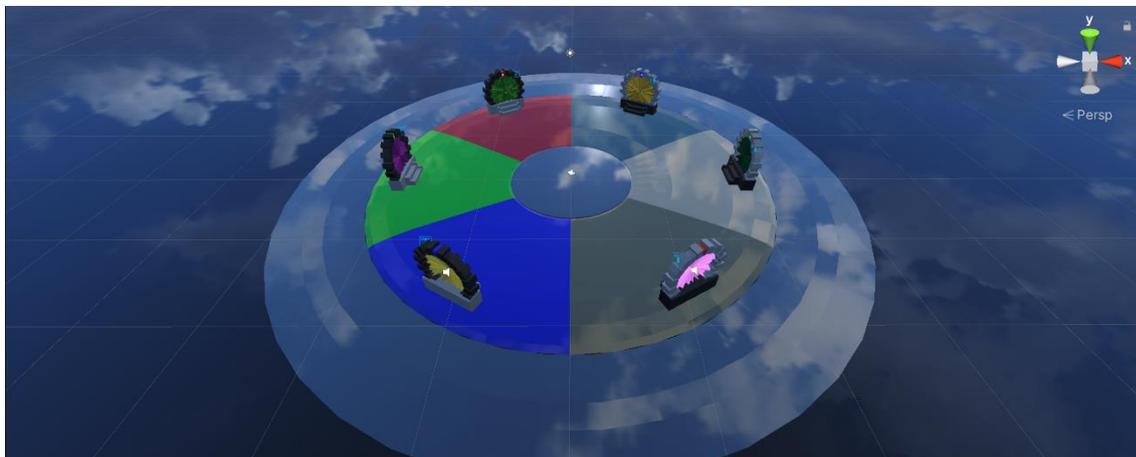


**Figura 43.** Vista de topo das áreas elaboradas na versão dicromata. Imagem de autoria própria.

#### 3.2.5.1 Área Comum

Este ambiente foi o último a ser realizado, mas é o ambiente principal para a experiência do projeto Reflexo. Permite ao utilizador escolher os portais que levam até aos outros ambientes, sem ser preciso a criação de um menu. O utilizador é apresentado numa plataforma redonda que

paíra sobre o céu, e vê-se rodeado de seis portais que pode escolher, sem lhe ser imposto uma ordem. Assim que escolhe um portal, o utilizador só irá voltar a esta área após visitar e explorar a área para que foi transportado. É uma área serena, sem movimentos, de forma a representar um espaço tranquilo e despreocupado. Vista de cima, os elementos da área formam a letra O.



**Figura 44.** Área Comum. Imagem de autoria própria.

### 3.2.5.2 Bosque Gigante

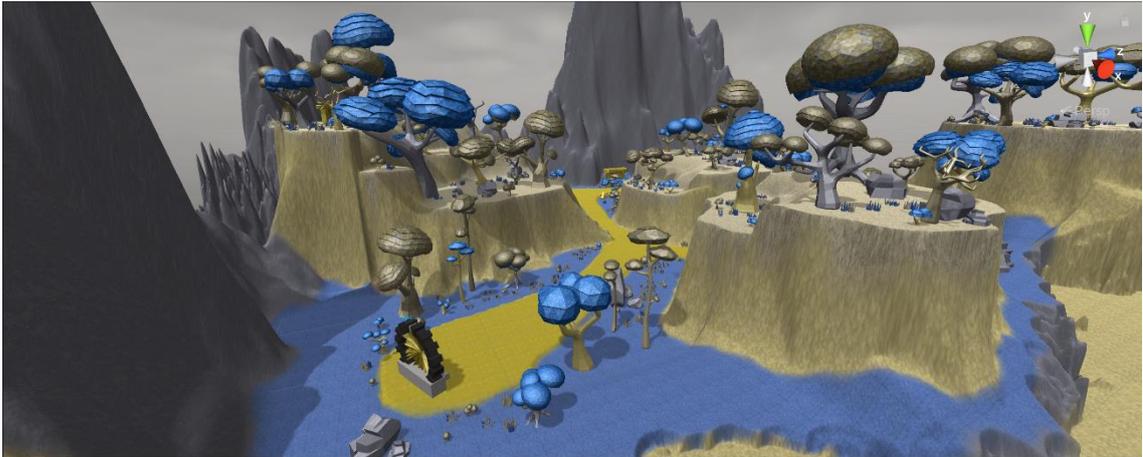
Esta foi a primeira área a ser concetualizada e desenvolvida, e representa um bosque fantasioso gigante, com vários tipos de árvores, arbustos, cogumelos e ruínas, num retrato de territórios inexplorados e aventureiros, onde o utilizador é colocado no papel de um explorador (fig. 45). A inspiração para o desenvolvimento deste AV, vem da vontade de me aventurar e explorar, do meu interesse pela história e arqueologia, e pelo gosto da natureza.



**Figura 45.** Bosque Gigante versão tricromata. Imagem de autoria própria.

O utilizador é rodeado por modelos de inspiração natural, com montes de grande inclinação repletos de árvores. Há um caminho com uma bifurcação, sendo um curto e outro longo, que leva ao mesmo destino, um templo de inspiração indígena que serve de ponto de teletransporte para a área refletida. Para voltar para a Área Comum é preciso voltar para o portal de início, e para isso, pode escolher o mesmo trajeto que fez anteriormente, ou escolher outro.

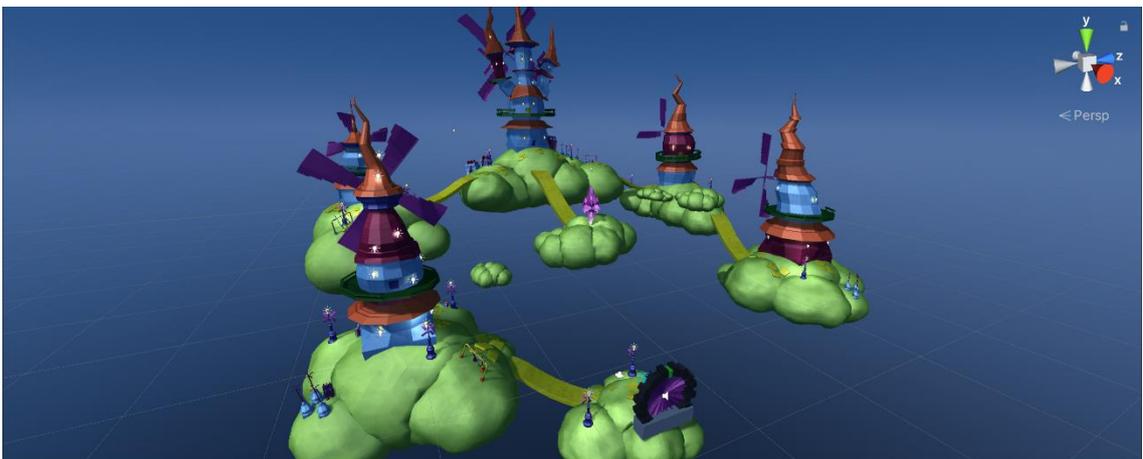
Numa vista de topo, esta área e todos os seus elementos, formam a letra R.



**Figura 46.** Bosque Gigante versão protanopa. Imagem de autoria própria.

### 3.2.5.3 Nuvens Mágicas

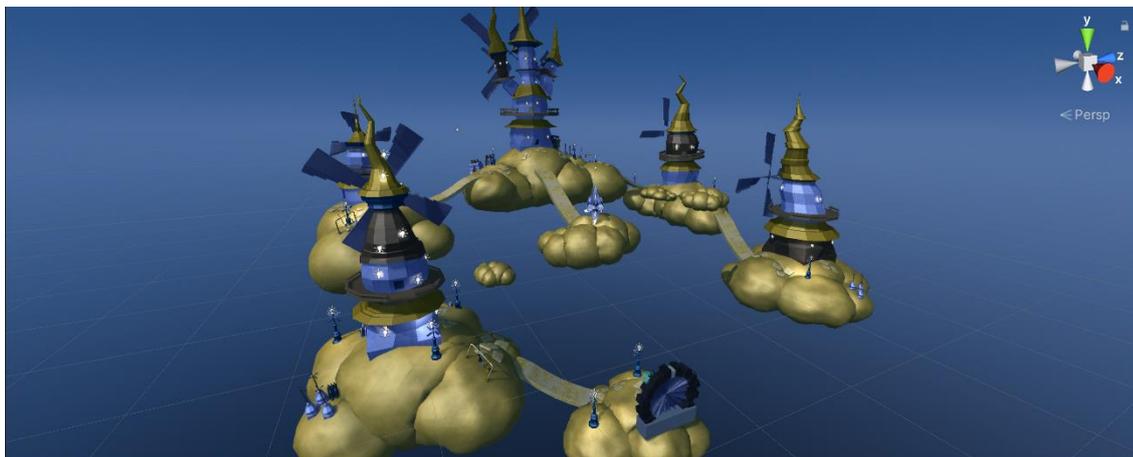
O conceito da segunda área desenvolvida, deve-se à imaginação de um mundo mágico que existe sobre nós, em cima das nuvens. A inspiração para a criação deste ambiente virtual nasceu de uma música que aprecio, que fala em moinhos no céu. Juntando esta premissa aos mundos fantásticos de magia, desenvolveu-se assim uma povoação de bruxas que habita nas nuvens, onde têm as suas casas, de inspiração de moinhos de vento neerlandeses, que geram a energia necessária para criarem magia. A magia está armazenada num cristal que é o ponto basilar da povoação, e que permite a estas bruxas viverem e usarem magia.



**Figura 47.** Nuvens Mágicas versão tricromata. Imagem de autoria própria.

Esta área foi elaborada de maneira diferente da primeira, ao invés de se criar e modelar um terreno, foram usados modelos 3D de nuvens como meio de piso. Para haver uma deslocação por parte do utilizador, foram criados passadiços e pontes de maneira a conectar as diferentes nuvens. Assim pode haver uma exploração do ambiente, passando de uma nuvem para a outra, observando os diferentes tipos de moinhos, e todos os modelos que constituem este ambiente, como por exemplo, postes de iluminação, baterias, suportes para vassouras e minis torres eólicas.

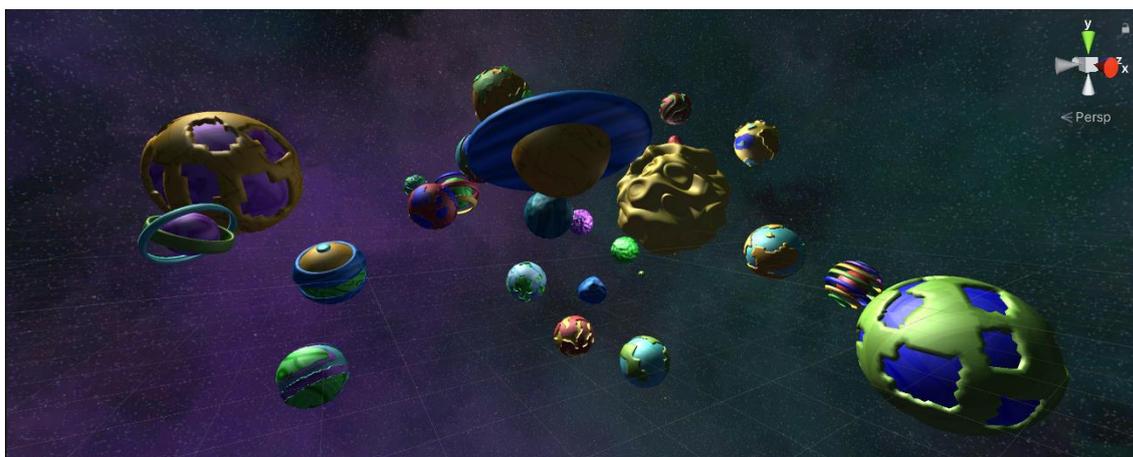
As janelas das casas e os postes de iluminação contêm focos de luz amarela, para dar a impressão de que o ambiente é habitado pelas tais bruxas, e que o utilizador não está sozinho, embora estas não existam, efetivamente. Para o utilizador atravessar da versão tricromata para a versão daltónica, deve ir de encontro ao cristal basilar, ao fazê-lo, pode experienciar as diferenças entre as duas versões. A fim de voltar para a área comum, basta voltar para o portal de onde entrou. Esta área, Nuvens Mágicas, vista de cima forma a letra E.



**Figura 48.** Nuvens Mágicas versão deuteranopa. Imagem de autoria própria.

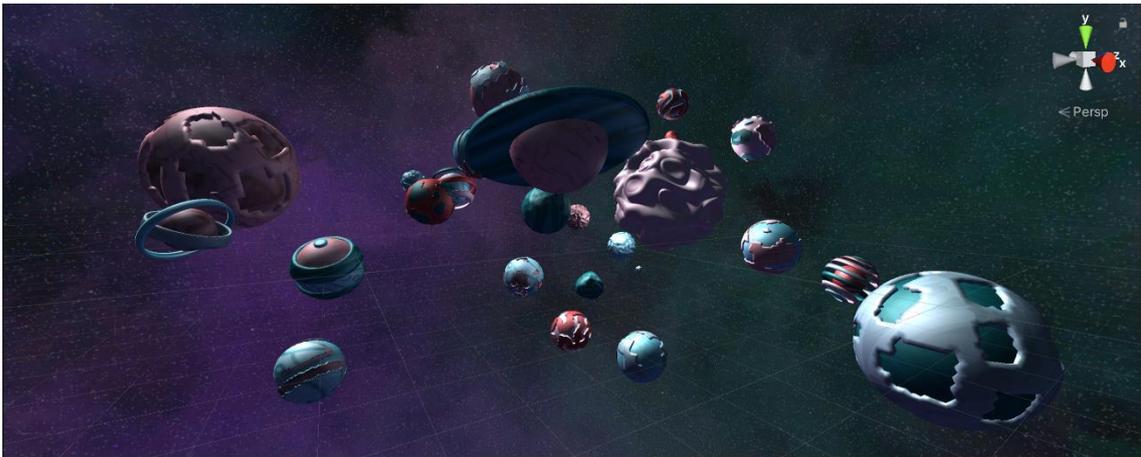
#### 3.2.5.4 Mundo Muitos Mundos

O conceito da terceira área, Mundo Muitos Mundos, nasceu através de uma conversa de amigos, com a ideia imaginária de que o mundo era constituído por vários mundos. Onde em cada mundo existe um específico grupo, como por exemplo um mundo constituído apenas por insetos, ou por água, ou por ferro. Cada um destes mundos interage com os outros mundos, conectando-se, e formando o nosso mundo. A conversa entre amigos sempre cativou a minha criatividade e o desejo da criação, e esta área é mais um exemplo disso, desta vez em forma de ambiente virtual.



**Figura 49.** Mundo Muitos Mundos versão tricromata. Imagem de autoria própria.

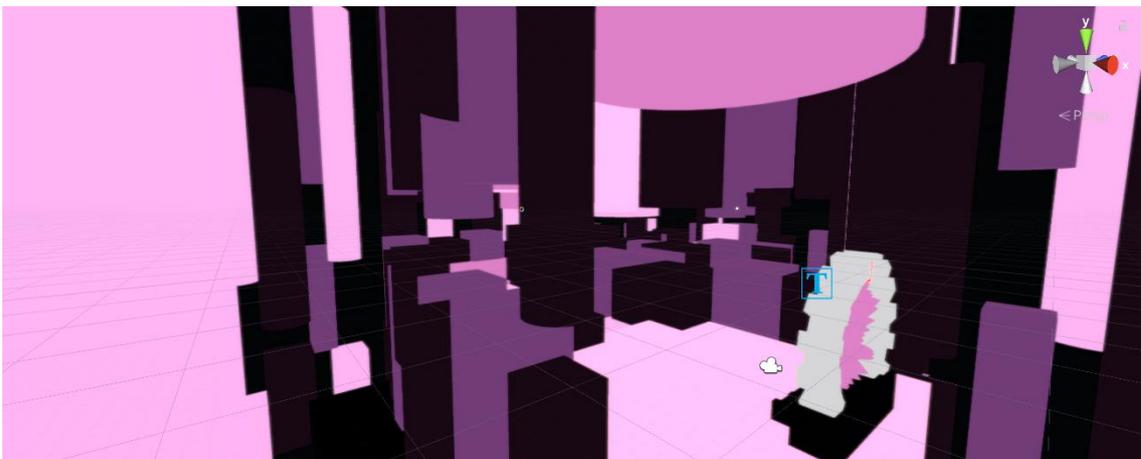
Desenvolveu-se assim uma área que se apoiasse nesta ideia de infinidade de mundos, e que passasse uma sensação diferente das outras áreas já elaboradas. Neste caso, o utilizador é colocado num ambiente vasto, sobre um plano invisível que serve de piso, e que lhe permite vaguear por entre os mundos representados sem barreiras e obstáculos. Ao entrar neste ambiente, o utilizador deve ir de encontro ao mundo principal para ser transportado para a versão dicromata, e ao voltar para o portal de início, é enviado de volta para a área comum. Numa vista de topo, esta área forma a letra F.



**Figura 50.** Mundo Muitos Mundos versão tritanopa. Imagem de autoria própria.

### 3.2.5.5 Jogo

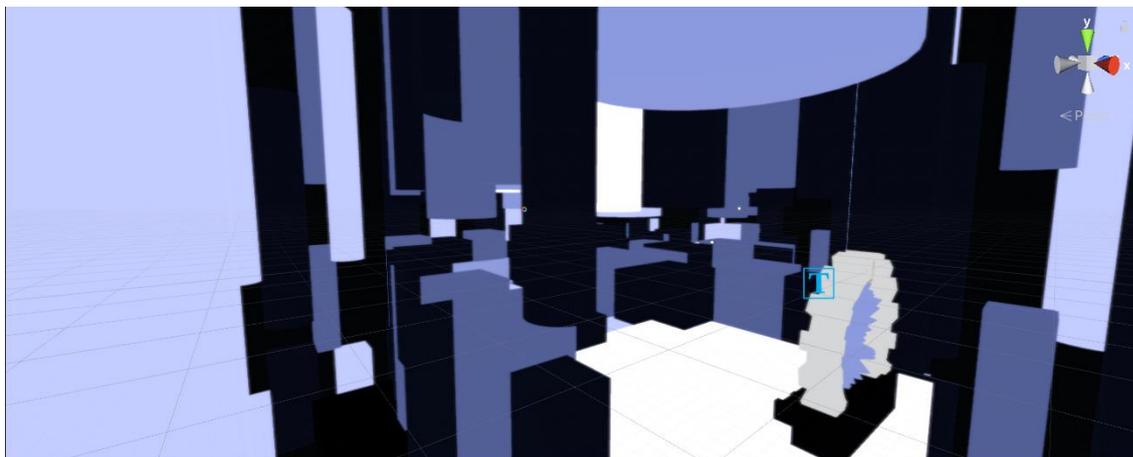
A área “Jogo” tem no seu âmago a inspiração nos jogos de plataformas, onde o jogador corre e salta entre plataformas e obstáculos. Esta área representa uma fase de um jogo, onde existem vários obstáculos e problemas que se devem ser ultrapassados para passar para outro nível, que é a versão dicromata. Como num jogo, todas as fases da vida podem ser vistas como desafios para serem superados e com objetivos a serem cumpridos.



**Figura 51.** Jogo versão tricromata. Imagem de autoria própria.

A área é constituída por bases retangulares que servem de apoio para o utilizador passar, embora tenha o caminho bloqueado por outros elementos retangulares. Por cima, existem cilindros que

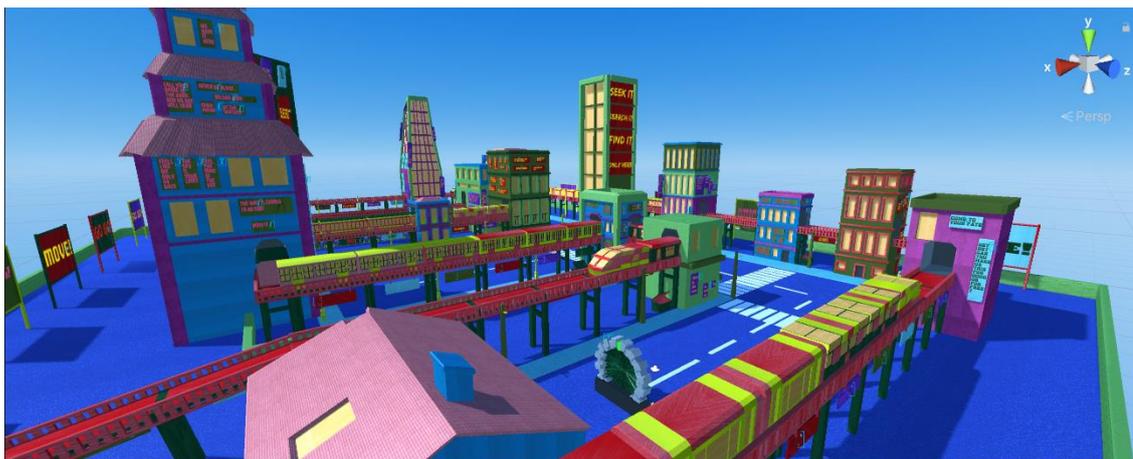
vão a impressão de que podem vir a cair e esmagar o utilizador. É um ambiente escuro, onde apenas se vêem as colunas que os modelos formam, e o caminho que está implícito pela diferença de cor dos elementos. As cores mais claras são as bases que o utilizador pode percorrer, e as cores mais escuras são as barreiras. Para ultrapassar esta área, tem de atravessar as bases até chegar ao final do 'jogo', que permite a mudança cromática. Ao voltar para a zona de início, pode passar pelo portal para sair desta área. Visto de cima, esta área forma a letra L.



**Figura 52.** Jogo versão protanopa. Imagem de autoria própria.

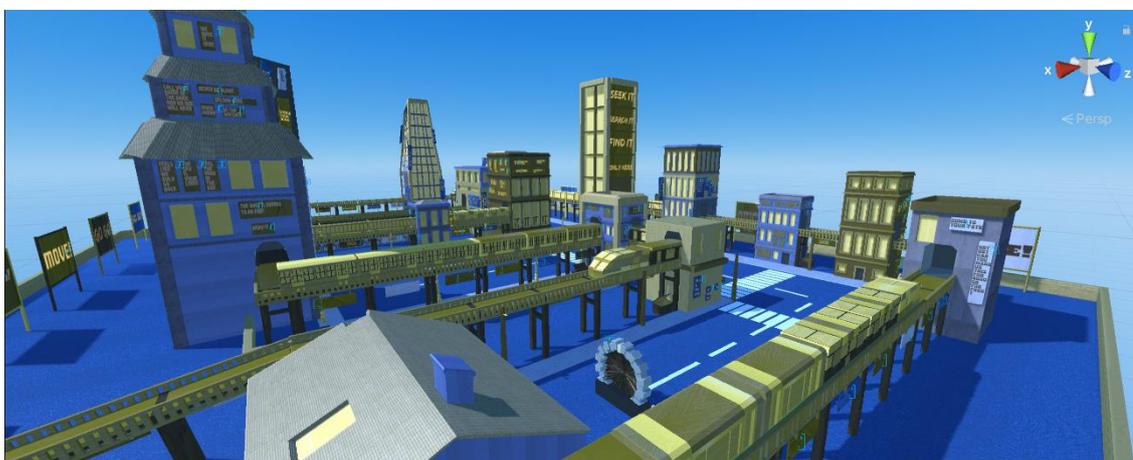
### 3.2.5.6 Cidade Do Progresso

A quinta área, a Cidade do Progresso, manifesta o ciclo da vida, e a tentativa de singrar apesar de todas as críticas. É uma urbanização que foi alvo de transformações progressistas, dividida em três partes diferentes, sendo que uma parte representa uma vila, a segunda uma cidade, e a terceira uma metrópole, de maneira a mostrar as diferenças entre os estilos tradicional, moderno e futurista. Existe uma linha de comboio que atravessa todos os edifícios do ambiente, e consoante a parte da cidade onde estiverem as carruagens, estas são diferentes. Esta linha de comboio representa o percurso a que somos submetidos, desde o nascimento, ao crescimento e à morte, passando por todos os momentos que nos definem como pessoa, pontos altos e pontos baixos, desilusões e felicidade. Existem posters e placards em todos os edifícios, que contêm várias frases e ideias, com sentido crítico e sarcástico, e outras, por baixo das linhas de comboio com uma intenção diferente, com palavras de inspiração e motivação.



**Figura 53.** Cidade do Progresso versão tricromata. Imagem de autoria própria.

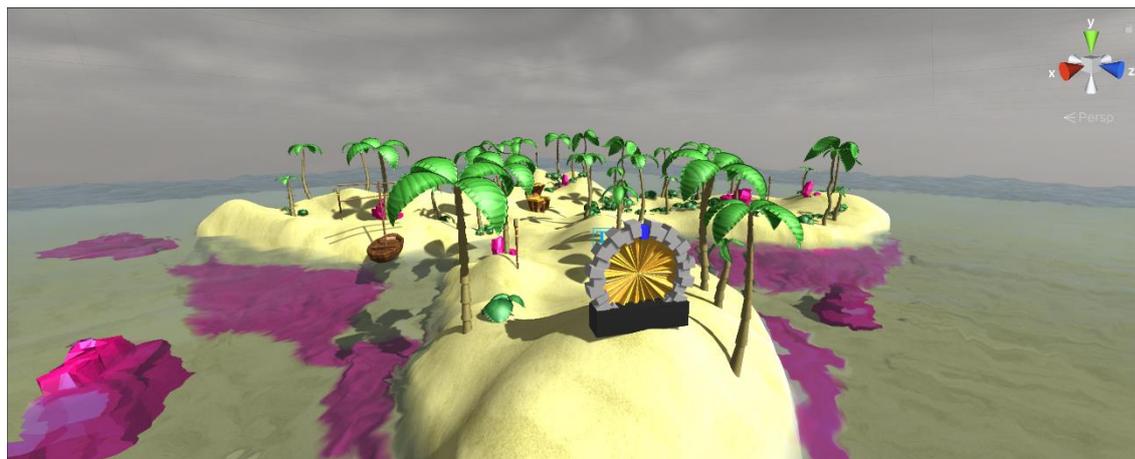
É a quinta área desenvolvida, e pertence à quarta fase de desenvolvimento do projeto, a fase final. Um ambiente virtual que nasce sobre um plano reto, e que é constituído por vários edifícios, uns mais antigos e outros mais recentes, de modo a explorar a ideia de progresso. Até mesmo os postes de iluminação utilizados vão variando de design, de uma ponta à outra da área. Ao entrar nesta área, o utilizador é colocado à frente de uma casa, modelada a partir da própria casa do autor, e apresentado a uma cidade fantasma, onde apenas existem palavras que ressoam. Ao explorar o ambiente, seguindo as estradas e a linha do comboio, encara um edifício futurista, e ao entrar pela porta, é transportado para a versão refletida. Ao fazer o mesmo percurso de volta, encontrará o portal de início à frente da casa inicial, que poderá atravessar para retornar à área comum.



**Figura 54.** Cidade do Progresso versão deuteranopa. Imagem de autoria própria.

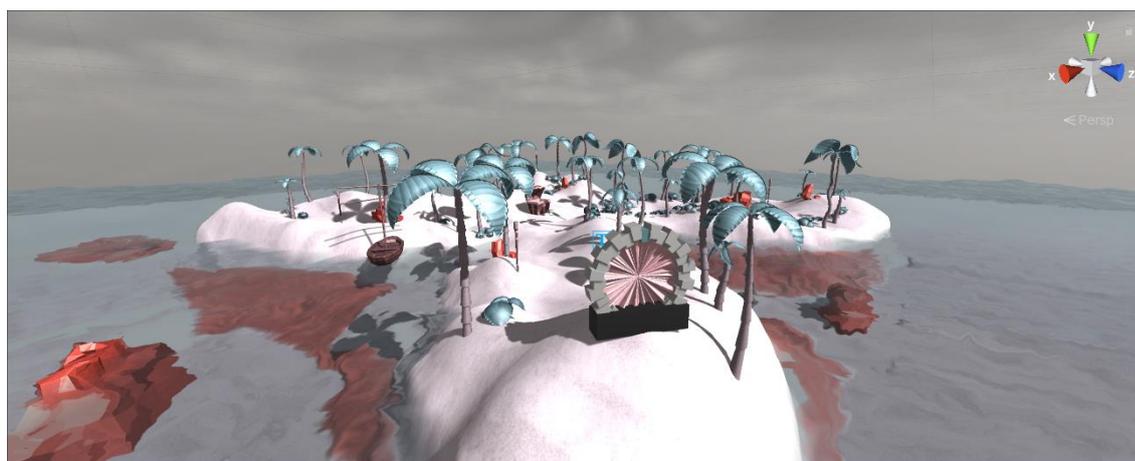
### 3.2.5.7 Ilha do Tesouro

A sexta área nasce da inspiração marítima e náutica, em concreto, da época dos descobrimentos portugueses, da liberdade que o mar oferece e a tranquilidade encontrada em ilhas paradisíacas. Juntamente com a ideia da pirataria e de tesouros, tentou-se a criação de um ambiente virtual que aliasse estes conceitos, resultando numa ilha paradisíaca que retrata o destino final, e o tal aclamado tesouro que se encontra no “X”.



**Figura 55.** Ilha do Tesouro versão tricromata. Imagem de autoria própria.

O utilizador é apresentado numa das pontas da ilha, e ao dirigir-se ao baú e interagir com ele, é transportado para a versão dicromática. No final da sua experiência, pode dirigir-se novamente ao portal de início para voltar à área comum. Numa vista de topo, este ambiente apresenta o formato da letra X.



**Figura 56.** Ilha do Tesouro versão tritanopa. Imagem de autoria própria.

À semelhança da primeira área, foi utilizada a ferramenta de modelação de terreno para criar o formato e as formas da ilha e das suas dunas de areia, e um *asset* para a colocação da água. Foram colocados elementos naturais como palmeiras e pedras, e elementos artificiais como tochas, uma pequena embarcação e o baú do tesouro.

### 3.2.5.8 Experiências dos Utilizadores

Ao longo do desenvolvimento dos ambientes virtuais, e de modo a criar uma experiência atrativa, foram feitos ensaios com a participação de colegas de vários cursos da universidade. No fundo, serviu como momentos de experimentação para apontar erros e fragilidades que ocorriam no projeto.

Numa primeira versão do ambiente do Bosque Gigante, as pessoas que o experimentaram apontaram que era uma área muito vasta, o que causava demora para concluir a passagem da área, e que os montes eram muito altos e não tinham dinamismo. Então, foi feita uma redução do tamanho do ambiente, e uma alteração do terreno, criando diferenças de altura entre os montes.

No ambiente Nuvens Mágicas, houve participantes que se queixaram do enjoo provocado pela subida e descida nos passadiços que ligam as nuvens, portanto, de maneira a reduzir este impacto, fez-se um declive menos abrupto. Existiam também modelos que não continham *colliders*, e que fazia com que os participantes entrassem em zonas que não pretendiam.

A movimentação do avatar no ambiente Mundo Muitos Mundos era demasiado lenta, tendo em conta a ampla área que o ambiente dispõe. De forma a corrigir a lentidão do deslocamento, aumentou-se a velocidade que o avatar pode alcançar, criando uma locomoção mais breve dentro desta área.

O brilho que incidia nos elementos do Jogo causavam a falta de noção da volumetria, o que tornava difícil a movimentação do utilizador, levando em quedas, e a própria distinção entre os elementos. Assim, foi diminuído o brilho que os modelos emanavam e foram alteradas as plataformas da base para paralelepípedos, em vez de cilindros.

Numa primeira versão, os cartazes dos prédios da Cidade do Progresso continham várias cores, tanto do poster em si como também das palavras escritas, o que causava um aspeto desleixado nas composições. De modo a criar uma composição colorida mas sóbria, optou-se por tornar os cartazes de cada prédio de apenas uma cor. Continua a existir uma composição colorida, porém não cria um aspeto desleixado no ambiente.

Na Ilha do Tesouro, os participantes destacaram a vastidão do terreno, então foi feita uma redução da área de modo a encurtar a experiência.

Num primeiro momento, os portais de teletransporte tinham uma composição circular que não permitia uma passagem fácil para os utilizadores. Então foi feita uma alteração no modelo já criado, acrescentando uma pequena plataforma com uma escada para permitir que o utilizador consiga ativar o portal de maneira a atravessar para outros ambientes.

Em termos do aspeto cromático, os participantes destacaram um sentimento de surpresa e estranheza ao perceber as cores dicromatas, afirmando que não tinham o conhecimento da maneira como a perceção visual de um daltónico varia, e da alteração das cores que ocorriam nestes casos. No geral, houve uma compreensão dos participantes relativamente às modificações cromáticas, e muitos deles tentavam decifrar todas as cores que tinham mudado.

O feedback dos participantes foi necessário para a alteração de certas mecânicas, melhorando assim a experiência final do projeto. As falhas e os lapsos encontrados foram consertados, ora reduzindo o terreno dos ambientes, ora a corrigir pequenas falhas de construção dos elementos.

## Conclusão

A realidade virtual (RV) não é um tópico recente, mas só atualmente com o avanço da tecnologia é que a vemos a ter um papel importante na comunicação, para o entretenimento, para questões relacionadas à saúde, o ensino e igualmente com o trabalho, apesar de todas estas capacidades já terem sido referenciadas nos primórdios da tecnologia. Estamos perante o futuro da chamada janela virtual, que tem vindo a desenvolver-se desde as telas de pintura, passando pelas telas de cinema e conseqüentemente às telas de televisão, de computadores, e mais recentemente chegando também às telas dos *smartphones*. A janela virtual é um portal que o utilizador atravessa e no qual pode alcançar várias realidades distintas da realidade física. Quando se coloca o capacete de RV existe um transporte imediato para uma outra realidade, para um lugar ou sítio de possibilidades infinitas.

Devido aos novos avanços tecnológicos, a realidade virtual tem se tornado cada vez mais presente na sociedade do século XXI, não só devido aos baixos custos financeiros e à sua portabilidade, comparativamente com os antigos dispositivos, como também à oferta de serviços de entretenimento, como são exemplo os jogos, vídeos imersivos e exposições artísticas. A possibilidade de escolha de vários tipos de experiências inéditas, é algo que raramente é presenciado noutros meios de comunicação, mas a verdade é que ainda não existe uma grande acessibilidade a esta tecnologia pela população em geral. Existem sistemas de realidade virtual que fornecem um grande nível de escolha de interfaces, como o exemplo dos HMDs, que podem ser encontrados com custos variados. Ou ainda sistemas que oferecem a possibilidade de várias pessoas de forma simultânea realizem experiências de realidade virtual. Ainda assim, existem alternativas mais baratas e acessíveis, como é o caso dos óculos de cartão em que se utiliza os *smartphones* como veículo para aceder à realidade virtual. Esta é a solução disponível para um maior alcance nos dias de hoje, e apesar de apenas acompanhar direções e não movimentos posicionais, consegue ser útil para a exposição de obras, em grande escala.

Por outro lado, a existência de motores de jogos, programas vocacionados para a criação de jogos, é, neste momento, o grande fator para haver uma maior proliferação da realidade virtual. No passado, era sempre necessária a presença de engenheiros no meio de trabalho para se conseguir fazer um projeto de realidade virtual, porém nos dias de hoje existe uma maior facilidade e um maior acesso para artistas e designers conseguirem dar azo à sua imaginação sem precisarem de ter conhecimento de código.

Devido ao estudo da temática da realidade virtual e das suas características, existe uma grande necessidade de se determinar, de maneira mais concisa e concreta, a sua definição. Durante este relatório vimos que existem variadas definições técnicas e concetuais relacionadas com a realidade virtual que originam imprecisões e ambiguidades. Muitas destas definições, especialmente as técnicas foram já ultrapassadas pelo passar do tempo, o que demonstra a sua inconsistência. Chegou-se à conclusão que a definição de realidade virtual tem de conter as

principais características deste meio, como a simulação da percepção, a imersão, a presença e a interatividade. Todas estas características são fundamentais para haver uma verdadeira experiência de realidade virtual, e é necessário que haja uma correlação entre elas.

As novas opções facultadas pela realidade virtual dão a capacidade de ilustrar o que se pretende, seja num aspeto imaginário ou científico. Podem-se utilizar interfaces para ensinar e mostrar cenas que antes eram quase impossíveis de ilustrar, conseguimos criar soluções mais facilmente e fazer testes no mundo virtual antes de as criarmos no mundo real. A realidade virtual tem se vindo a mostrar um recurso valioso utilizado por designers e artistas para transmitir mensagens fora do convencional e explorar conceitos e ideias de uma forma aprofundada.

Em termos artísticos, a interação entre o público e os ambientes virtuais afasta-se da ideia da visualização passiva, contrariamente ao que acontece com outros tipos de arte. O utilizador é colocado no papel de um criador, um participante ativo das experiências artísticas, acabando por/de completar as obras criadas por artistas. Os artistas são então estimulados a ampliar a sua expressão para além da tela finita, originando novas estéticas cativantes e envolventes que não estão confinadas às leis da física.

No decorrer deste projeto, o conhecimento sobre a realidade virtual foi desenvolvido tanto para o autor, como para as pessoas ao seu redor. Sendo este um novo meio de comunicação que ainda não tinha tido a oportunidade de experimentar e testemunhar, revelou-se, sem qualquer dúvida, uma experiência estimulante e igualmente lúdica. Foi com assombro que se percebeu que o desenvolvimento deste projeto suscitou o interesse pela realidade virtual através de momentos de impulso e bem estar, a todos aqueles que tiveram a oportunidade de participar nesta experiência imersiva. Nesse sentido, é evidente que o projeto Reflexo foi desenvolvido como um projeto imersivo, interativo, com simulação da percepção e que potencia o sentimento de presença do utilizador.

Além do mais, a utilização da RV serviu como meio de comunicação para passar a mensagem de que existem várias percepções visuais consoante os tipos de daltonismo. Os ambientes virtuais realizados enaltecem a cor, uma vez que exhibe as diferenças cromáticas associadas aos tipos de daltonismo total. Existem variações de cor que podem passar despercebidas pelos utilizadores, mas também há mudanças fáceis de distinguir/identificar e que causam espanto. São perspetivas que seres humanos de visão tricromata não têm ao longo da sua vida, o que faz com que cause impacto e impressione o utilizador no fim da vivência do projeto. Entende-se por uma experiência cromática que utiliza a realidade virtual como um meio para alcançar perspetivas diferentes, incorporando distúrbios que não se conseguem simular na realidade física.

Um dos objetivos era também apresentar e expor o daltonismo aos utilizadores, despertando a sua consciência perante o tema. Naturalmente o utilizador ao embarcar na experiência é atraído pelas diferenças cromáticas que se tornam aparentes ao percorrer os ambientes virtuais, logo por

consequente podemos verificar que se fomentou uma conscientização passiva em relação aos tipos de daltonismo, pois o utilizador adquire as bases de como funciona a visão com deficiência daltónica total dos três tipos.

Nesta relação entre o universo de RV e o daltonismo, concluiu-se que o objetivo de criar ambientes virtuais que providenciem uma experiência imersiva no mundo da cor, que remetam à importância da cor como instrumento de comunicação, e as alterações cromáticas que ocorrem numa visão dicromata, foi concluído com os efeitos pretendidos. Por outro lado, levou o autor a levantar questões que futuramente podem e devem ser alvo de disseminação, como são exemplo o acesso da população ao projeto e melhorias da experiência do utilizador.

## **Perspetivas Futuras**

No futuro, deseja-se tornar este projeto acessível à população em geral, através da partilha por meio de plataformas de distribuição de jogos digitais. Entendeu-se também que a distribuição do projeto experimental deve ser feita de forma gratuita, de maneira a alcançar mais pessoas, visto que é uma experiência imersiva que apesar de não ter um carácter didático, faz os utilizadores perceberem as diferenças que ocorrem na visão dicromata. Além da disponibilidade online, uma outra forma de partilhar o projeto é através de palestras em escolas com momento experimental, de maneira a divulgar também a realidade virtual aos jovens. Um dos objetivos deste projeto é, precisamente, dar a conhecer as alterações que ocorrem numa visão defeituosa, no caso as deficiências totais da visão cromática.

Futuramente, pretende-se desenvolver melhorias na experiência do utilizador ao colocar breves explicações dos tipos de daltonismo presenciados nos ambientes virtuais, de maneira a haver um maior entendimento do tema pelos utilizadores. Com uma breve explicação na Área Comum, em formato de texto, os utilizadores que experimentarem o Reflexo, terão uma base do que se trata os ambientes virtuais criados, tal como o tipo de daltonismo representado, o nome e um breve resumo do conceito dos AVs. Desta forma, vai preparado para o que vai experienciar, acentuando mais a distinção entre as cores percebidas pelos tricromatas e dicromatas.

Uma outra alteração que pode vir a ser feita no projeto Reflexo, é a recriação da experiência mais como um jogo. Ou seja, em vez de os utilizadores vaguearem nos ambientes virtuais e poderem voltar para a Área Comum mesmo estando em ambientes tricromatas, pode-se criar uma forma de obrigatoriedade de passagem para os ambientes dicromatas, e também, a procura de objetos chave que voltem a restabelecer a ligação dos portais dos AVs dicromatas para a Área Comum. Assim, o utilizador acaba por assumir um outro papel na história dos mundos do Reflexo, ao ser instigado a procurar elementos-chave nos cenários, para assim conseguir ultrapassar as fases dos ambientes. O primeiro elemento-chave deveria estar presente nos ambientes tricromatas, formando uma ligação com os elementos de transporte dessas áreas. Finalmente, o segundo elemento-chave deveria estar colocado nos ambientes dicromatas, e este estabelece a ligação dos

portais com a Área Comum. Ao concluir os desafios, o ambiente virtual é desbloqueado, e o utilizador pode então usufruir de uma experiência mais relaxada pelos cenários, e utilizar os portais e ponto de teletransporte sem limites. Com estas mudanças, a experiência do utilizador torna-se diferente do que está projetado neste momento, mas é uma alternativa, que não só tem o conceito inicial, como também um jogo de fuga.

# Referências

## Bibliografia

- Bamodu, O., & Ye, X. M. (2013). Virtual reality and virtual reality system components. *Advanced Materials Research*, 765-767, 1169–1172. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.765-767.1169>
- Bates, J. (1992). Virtual reality, art, and entertainment. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1(1), 133–138. <https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.1.133>
- Benjamin, W. (2001). *The work of art in the age of mechanical reproduction*. Reading Images, 62–75. [https://doi.org/10.1007/978-1-137-08886-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-137-08886-4_7)
- Biocca, F. (1992). Virtual Reality Technology: A tutorial. *Journal of Communication*, 42(4), 23–72. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00811.x>
- Birch, J. (2012). Worldwide prevalence of red-green color deficiency. *Journal of the Optical Society of America*, 29(3), 313. <https://doi.org/10.1364/josaa.29.000313>
- Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual reality: How much immersion is enough? *Computer*, 40(7), 36–43. <https://doi.org/10.1109/mc.2007.257>
- Brettel, H., Viénot, F., & Mollon, J. D. (1997). Computerized simulation of color appearance for dichromats. *Journal of the Optical Society of America*, 14(10), 2647. <https://doi.org/10.1364/josaa.14.002647>
- Burdea, G. and Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology*. Wiley-IEEE Press.
- Chen, Y.C., Guan, Y., Ishikawa, T., Eto, H., Nakatsue, T., Chao, J., & Ayama, M. (2013). Preference for color-enhanced images assessed by color deficiencies. *Color Research & Application*, 39(3), 234–251. <https://doi.org/10.1002/col.21795>
- Davies, C. (1998). OSMOSE: Notes on being in Immersive virtual space. *Digital Creativity*, 9:2, 65-74. <https://doi.org/10.1080/14626269808567111>
- deLahunta, S. (2002). Virtual reality and performance. *PAJ: A Journal of Performance and Art*, 24(1), 105–114. <https://doi.org/10.1162/152028101753401839>

- Fang Lin, C. (2011). *AR | RA: A arte na realidade aumentada*. [Dissertação de Pós-Graduação, Universidade Estadual Paulista]. Recuperado em [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/86936/chan\\_fl\\_me\\_ia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/86936/chan_fl_me_ia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Friedberg, A. (2006). *The Virtual Window: From Alberti to Microsoft*. Massachusetts: MIT Press.
- Grau, O. (2003). *Virtual Art From Illusion To Immersion*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Greenbaum, P. (1992). The Lawnmower Man. *Film and Video*, 9(3), 58-62.
- Greengard, S. (2019). *Virtual Reality*. MIT Press.
- Guimarães, L. (2004). *A cor como informação*. São Paulo: Annablume.
- Hacmun, I., Regev, D., & Salomon, R. (2018). The principles of art therapy in virtual reality. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02082>
- Kelley, B., & Tornatzky, C. (2019). *The artistic approach to virtual reality*. The 17th International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 36, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3359997.3365701>
- Kruger, W., Bohn, C. A., Frohlich, B., Schuth, H., Strauss, W., & Wesche, G. (1995). The responsive workbench: A virtual work environment. *Computer*, 28(7), 42–48. <https://doi.org/10.1109/2.391040>
- Lotufo, E. (2008). *Cor e comunicação*. Universidade católica de Goiás, Departamento de Artes e Arquitetura, curso de design, Goiânia
- Mokhtari, M., Lemieux, F., Bernier, F., Ouellet, D., Drouin, R., Laurendeau, D. & Branzan-Albu, A. (2004). *Virtual Environments and Sensori-Motor activities: Visualization*
- Monteiro, B., Melo, E., & Negrão, N. (2013). *A cor na animação: uma análise das reações do receptor a partir das evoluções tecnológicas cinematográficas*. Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, Assis.
- Northfield, R. (2016). VR in... art. *Engineering & Technology*, 11(3), 34–34. <https://doi.org/10.1049/et.2016.0313>

Pedrosa, I. (2010). *Da cor à cor Inexistente*. Senac.

Pramanik, T., Khatiwada, B., & Pandit, R. (2012). Color vision deficiency among a group of students of health sciences. *Nepal Medical College journal* : NMCJ. 14. 334-6.

Ribeiro, M., & Gomes, A. J. (2020). Recoloring algorithms for colorblind people. *ACM Computing Surveys*, 52(4), 1–37. <https://doi.org/10.1145/3329118>

Rodrigues, M (2019). *Simbiose entre Design e Emoção: será a cor o espelho da alma? Estudo exploratório* [Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior].

Salih, A. E., Elsherif, M., Ali, M., Vahdati, N., Yetisen, A. K., & Butt, H (2020). Ophthalmic wearable devices for color blindness management. *Advanced Materials Technologies*, 5(8), 1901134. <https://doi.org/10.1002/admt.201901134>

Sena, M. (2009). *Etiqueta têxtil como contributo para a interpretação da cor pelos deficientes visuais* [Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior].

Sharpe, L., Stockman, A., Jägle, H., & Nathans, J. (1999). Opsin genes, cone photopigments, color vision and colorblindness. In *Color Vision: From Genes to Perception*, K. Gegenfurtner and L. Sharpe (1999). Cambridge University Press.

Sherman, W., & Craig, A. (2002). *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics.

Silveira, L. (2015). *Introdução à teoria da cor*. Curitiba: Editora UTFPR.

Simó, A. (2006). *Realidade Virtual y Creación Artística*

Simó, A. (2018). *The Stereoscopic Art Installation Eccentric Spaces*. in ACM SIGGRAPH'18, Vancouver, Canada. <https://doi.org/10.1145/3230744.3230802>

Simó, Á. (2018). The virtual reality art installation endocytosis: Evolving from a flat land into a three-dimensional world. *Leonardo*, 51(2), 124–127. [https://doi.org/10.1162/leon\\_a\\_01265](https://doi.org/10.1162/leon_a_01265)

Simó, Á. (2019). La realidad virtual en la Creación Artística: Conceptos, Tecnologías, Trayectoria y Actualidad. *Arte y Políticas De Identidad*, 20, 131–146. <https://doi.org/10.6018/reapi.389521>

- Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (five): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603–616. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73–93. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>
- Sutherland, I. (1965). *The Ultimate Display*. Proceedings of the IFIP Congress, pp.506-508.
- Weiss, P. L., & Jessel, A. S. (1998). Virtual reality applications to work. *Work*, 11(3), 277–293. <https://doi.org/10.3233/wor-1998-11305>
- Wohlgenannt, I., Simons, A., & Stieglitz, S. (2020). Virtual reality. *Business & Information Systems Engineering*, 62(5), 455–461. <https://doi.org/10.1007/s12599-020-00658-9>
- Zheng, J. M., Chan, K. W., & Gibson, I. (1998). Virtual reality. *IEEE Potentials*, 17(2), 20–23. <https://doi.org/10.1109/45.666641>

## Páginas Web consultadas

- Barnard, D. (2022, October 6). History of VR - timeline of events and Tech Development. VirtualSpeech. Acedido a 23/10/2022. Recuperado em <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>
- Channel, L. (2022, November 4). *Laurie Anderson interview: A virtual reality of stories* [Video]. Vimeo. Acedido a 18/11/2022. Recuperado em [https://vimeo.com/233785242?embedded=true&source=video\\_title&owner=15610106](https://vimeo.com/233785242?embedded=true&source=video_title&owner=15610106)
- Encyclopædia Britannica, inc. (n.d.). Virtual reality. *Encyclopædia Britannica*. Acedido a 15/09/2022. Recuperado em <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>
- English, T. (2020, May 9). This is the engineering behind how VR headsets work. *How Do VR Headsets Work?* Acedido a 10/10/2022. Recuperado em <https://interestingengineering.com/vr-headsets-work-through-a-combination-of-different-tracking-technologies>
- Freeman, L. (2018, March 29). Enter Marina Abramović's virtual reality. *Vogue France*. Acedido a 19/11/2023. Recuperado em <https://www.vogue.fr/fashion-culture/fashion-exhibitions/story/enter-marina-abramovis-virtual-reality/1663>

Helerbrock, R. (n.d.). Fenômenos ópticos: O que são, exemplos, imagens. *Brasil Escola*. Acedido a 10/08/2022. Recuperado em <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/fenomenos-opticos.htm>

Helerbrock, R. (n.d.). Diferenças entre imagens reais E virtuais. *Brasil Escola*. Acedido a 10/08/2022. Recuperado em <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/diferencas-entre-imagens-reais-virtuais.htm>

Helerbrock, R. (n.d.). Reflexão da Luz: O que É, tipos, leis, exercícios. *Brasil Escola*. Acedido a 10/09/2022. Recuperado em <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/reflexao-luz.htm>

History of virtual reality. *Virtual Reality Society*. (2020, January 2). Acedido a 16/09/2022. Recuperado em <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>

Laurie Anderson + Hsin-chien Huang: La camera insabbiata - announcements - e-flux. e. (n.d.). Acedido a 18/11/2022. Recuperado em <https://www.e-flux.com/announcements/165304/laurie-anderson-hsin-chien-huangla-camera-insabbiata/>

LissonGallery. (2018, March 22). Behind the scenes of Marina Abramović's new virtual reality artwork [Video]. YouTube. Acedido a 19/11/2022. Recuperado em <https://www.youtube.com/watch?v=n6uDOC8u03s>

Marina Abramović. *Acute Art*. (n.d.). Acedido a 19/11/2022. Recuperado em <https://acuteart.com/artist/marina-abramovic/>

Markonish, D. (n.d) Laurie Anderson. Language of the Future. *MassMoCA*. Acedido a 18/11/2022. Recuperado em [https://massmocawp.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/2022/10/Anderson\\_Guide\\_2022\\_pages\\_ISSUU.pdf](https://massmocawp.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/2022/10/Anderson_Guide_2022_pages_ISSUU.pdf)

Marr, B. (2022, October 12). A short history of the metaverse. *Forbes*. Acedido a 24/10/2022. Recuperado em <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2022/03/21/a-short-history-of-the-metaverse/>

Martin, M. (2022, October 15). Augmented reality (AR) vs virtual reality (VR). *Guru99*. Acedido a 08/11/2022. Recuperado em <https://www.guru99.com/difference-between-ar-vr.html>

Ravenscraft, E. (2022, April 25). What is the metaverse, exactly? *Wired*. Acedido a 24/10/2022. Recuperado em <https://www.wired.com/story/what-is-the-metaverse/>

Rosson, L. (2014, April 15). The Virtual Interface Environment Workstation (view), 1990. NASA. Acedido a 25/10/2022. Recuperado em [https://www.nasa.gov/ames/spinoff/new\\_continent\\_of\\_ideas/](https://www.nasa.gov/ames/spinoff/new_continent_of_ideas/)

Tan Holobench™. *Barco*. (n.d.). Acedido a 26/10/2022. Recuperado em <https://www.barco.com/en/product/tan-holobench>

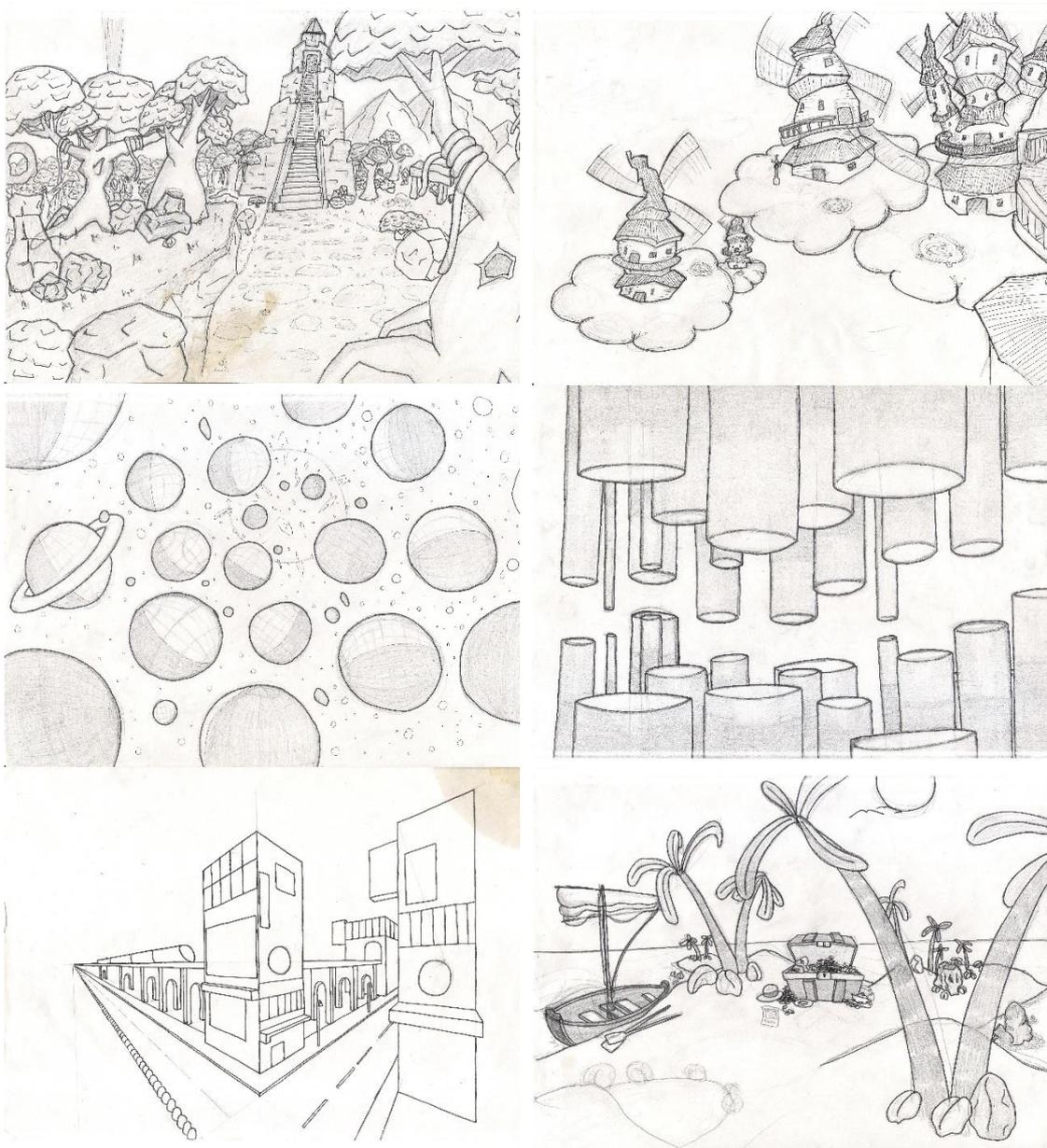
Tan Holoscreen™. *Barco*. (n.d.). Acedido a 26/10/2022. Recuperado em <https://www.barco.com/pt/product/tan-holoscreen>

Teixeira, M. M. (n.d.). O que É reflexão da luz? *Brasil Escola*. Acedido a 10/09/2022. Recuperado em <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-reflexao-luz.htm>

Simó, A. (n.d.). Acedido a 20/11/2022. Recuperado em <http://aguedasimo.net/msa.htm>

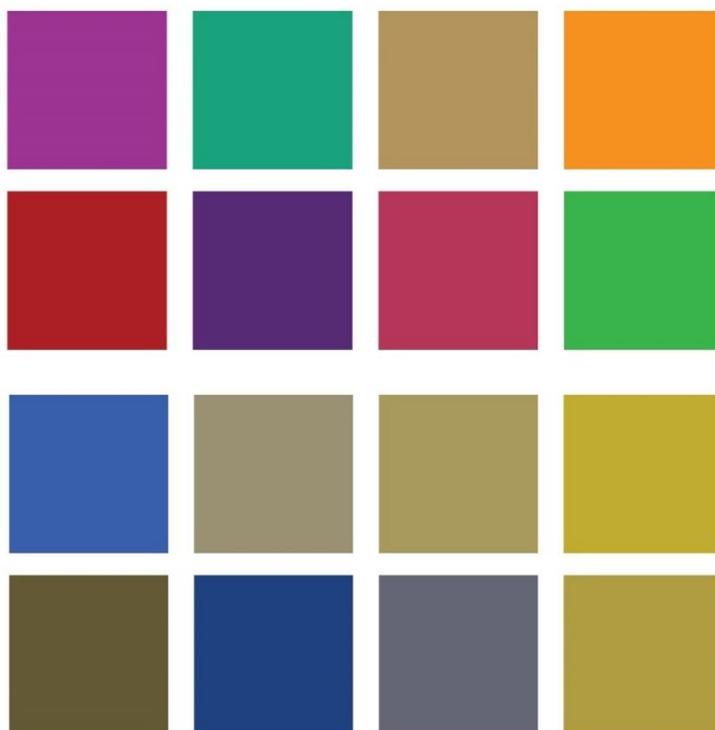
## Anexos

### Anexo 1 – Desenhos conceituais dos ambientes virtuais



**Figura 57.** Desenhos conceituais das seis áreas. Imagens de autoria própria.

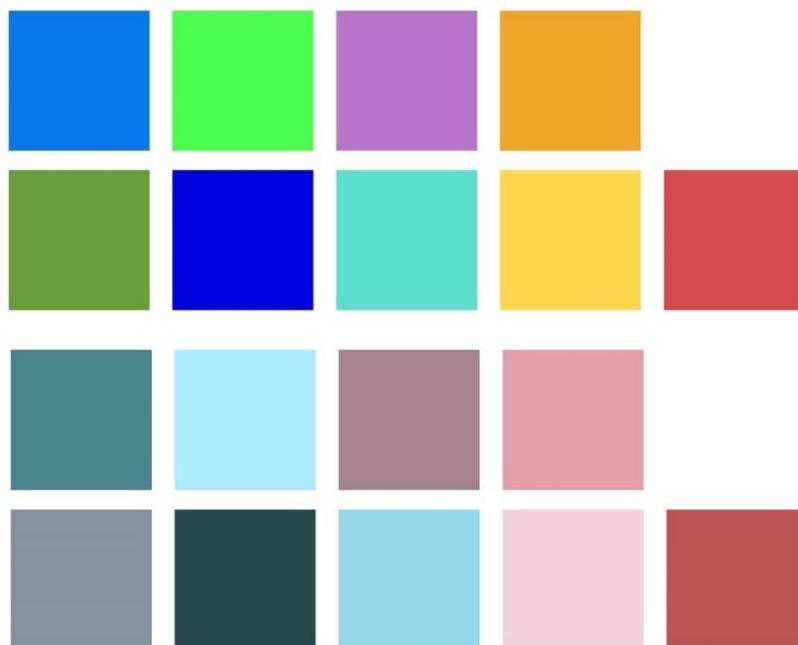
## Anexo 2 – Paletes cromáticas



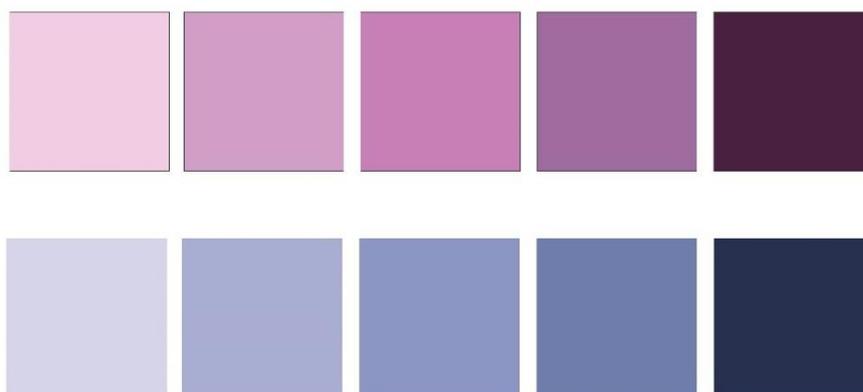
**Figura 58.** Paletes cromáticas da área Bosque Gigante. Cima: versão tricromata; baixo: versão protanopa. Imagens de autoria própria.



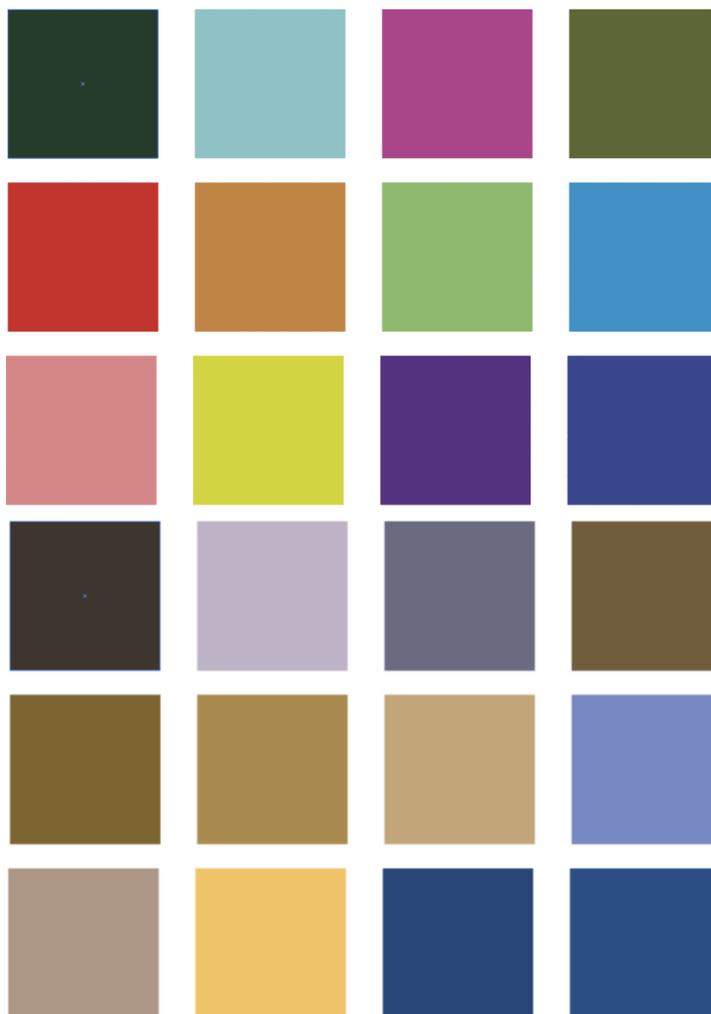
**Figura 59.** Paletes cromáticas da área Nuvens Mágicas. Cima: versão tricromata; baixo: versão deuteranopa. Imagens de autoria própria.



**Figura 60.** Paletes cromáticas da área Mundo Muitos Mundos. Cima: versão tricromata; baixo: versão tritanopa. Imagens de autoria própria.

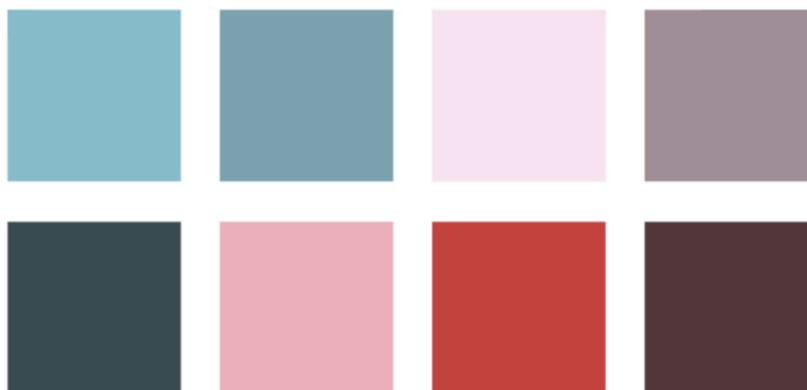


**Figura 61.** Paletes cromáticas da área Jogo. Cima: versão tricromata; baixo: versão protanopa. Imagens de autoria própria.



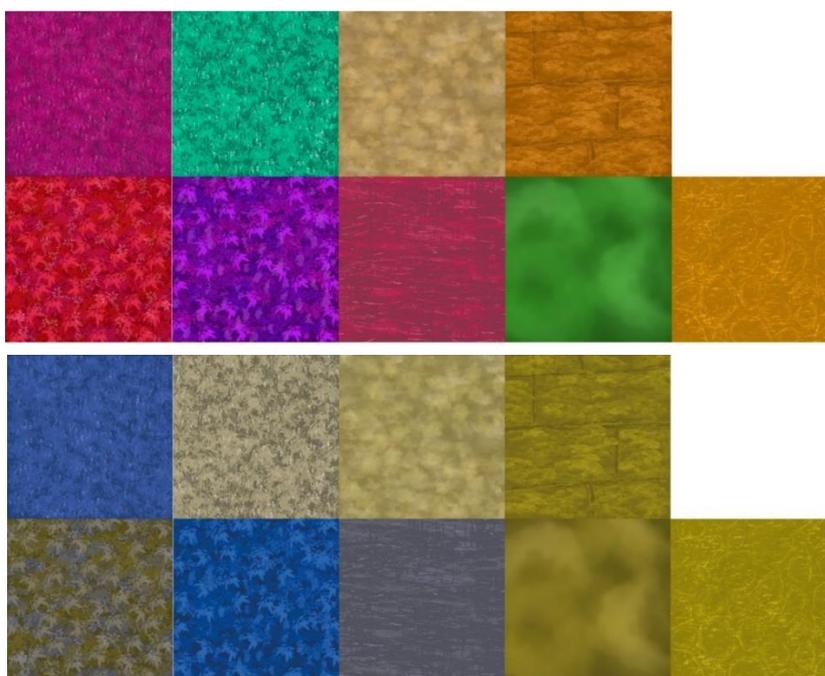
**Figura 62.** Paletes cromáticas da área Cidade do Progresso. Cima: versão tricromata; baixo: versão deuteranopa. Imagens de autoria própria.





**Figura 63.** Paletes cromáticas da área Ilha do Tesouro. Cima: versão tricromata; baixo: versão tritanopa. Imagens de autoria própria.

### **Anexo 3 – Texturas**

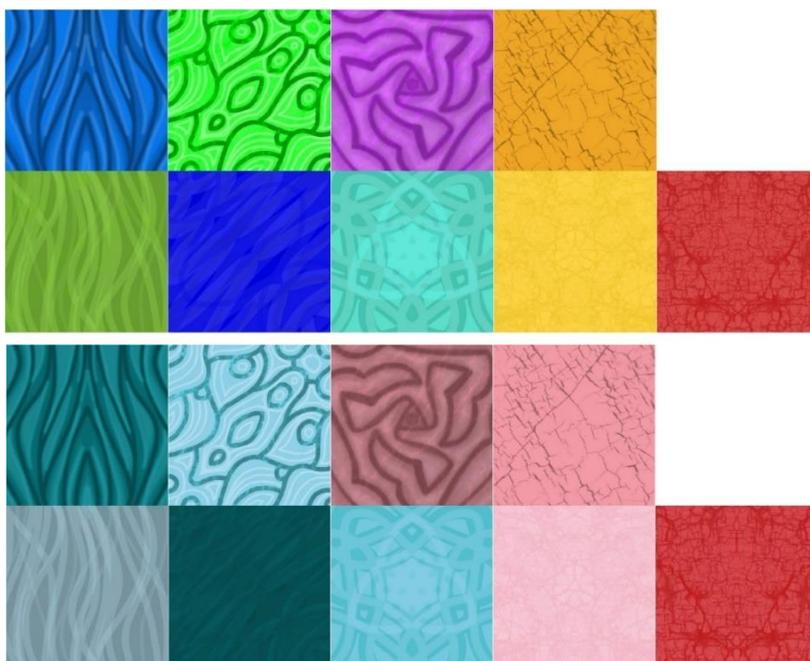


**Figura 64.** Texturas da área Bosque Gigante. Cima: versão tricromata; baixo: versão protanopa. Imagens de autoria própria.



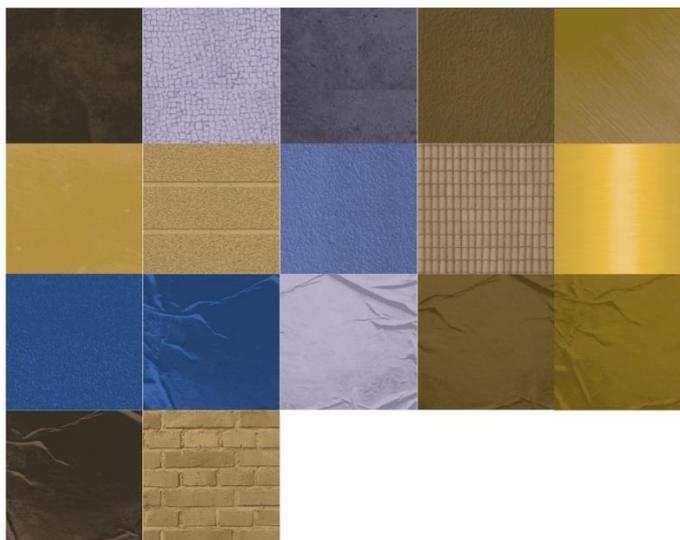


**Figura 65.** Texturas da área Nuvens Mágicas. Cima: versão tricromata; baixo: versão deuteranopa. Imagens de autoria própria.

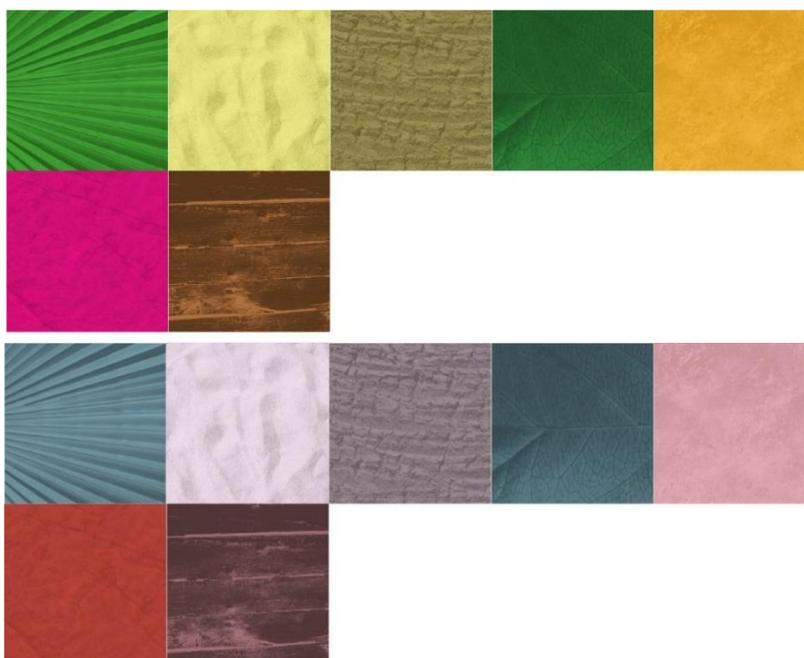


**Figura 66.** Texturas da área Mundo Muitos Mundos. Cima: versão tricromata; baixo: versão tritanopa. Imagens de autoria própria.





**Figura 67.** Texturas da área Cidade do Progresso. Cima: versão tricromata; baixo: versão deuteranopa. Imagens de autoria própria.



**Figura 68.** Texturas da área Ilha do Tesouro. Cima: versão tricromata; baixo: versão tritanopa. Imagens de autoria própria.

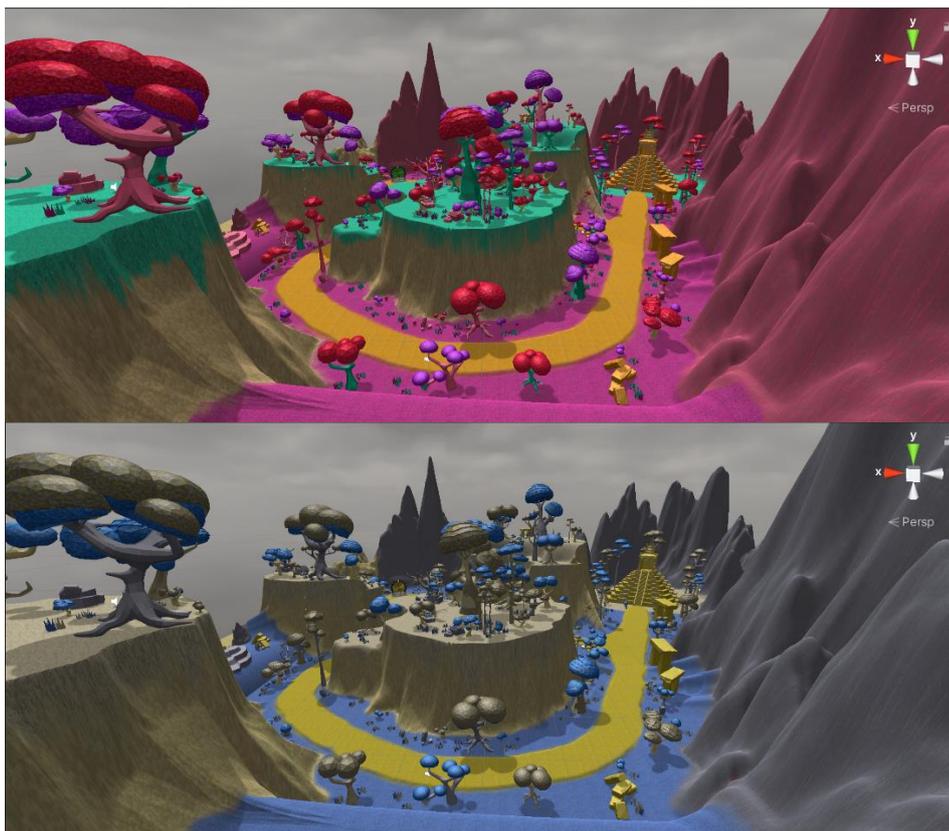
## Anexo 4 – Ambientes Virtuais



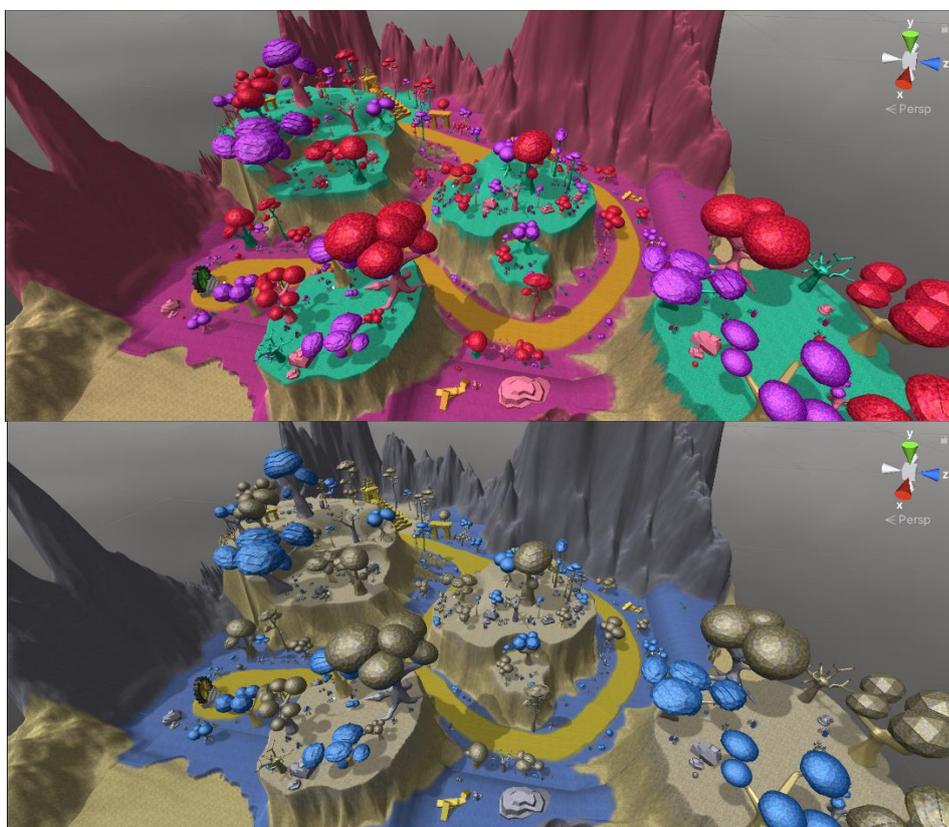
**Figura 69.** Portal do Bosque Gigante. Cima: versão tricromata; baixo: versão protanopa. Imagens de autoria própria.



**Figura 70.** Destino do Bosque Gigante. Cima: versão tricromata; baixo: versão protanopa. Imagens de autoria própria.



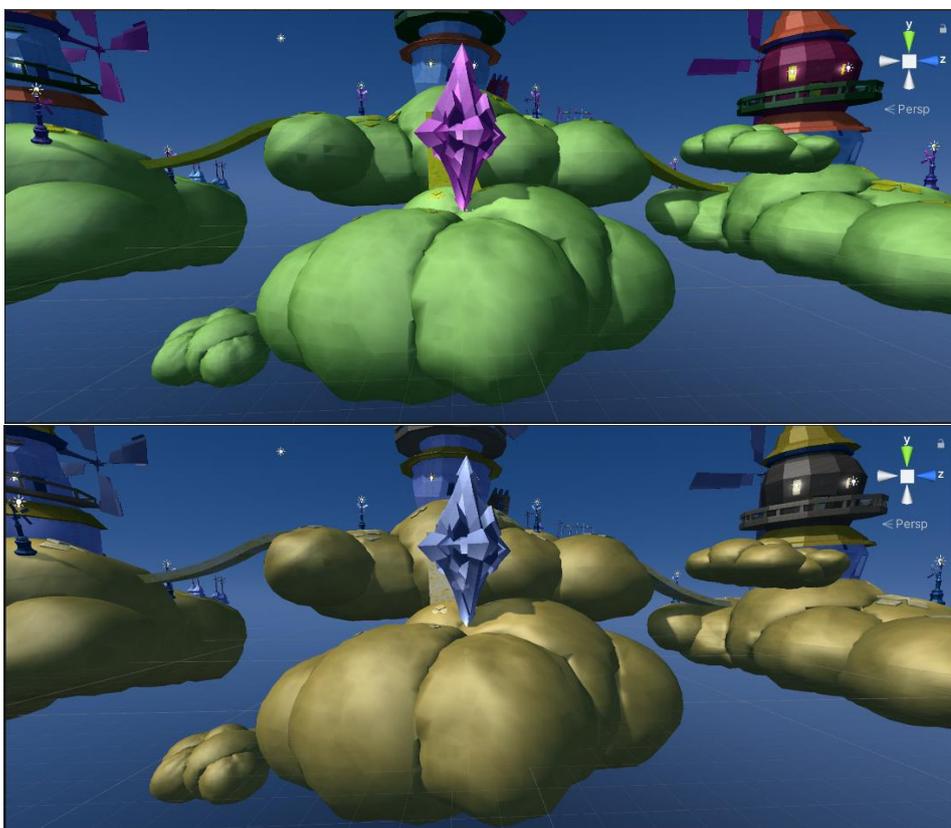
**Figura 71.** Perspetiva do Bosque Gigante. Cima: versão tricromata; baixo: versão protanopa. Imagens de autoria própria.



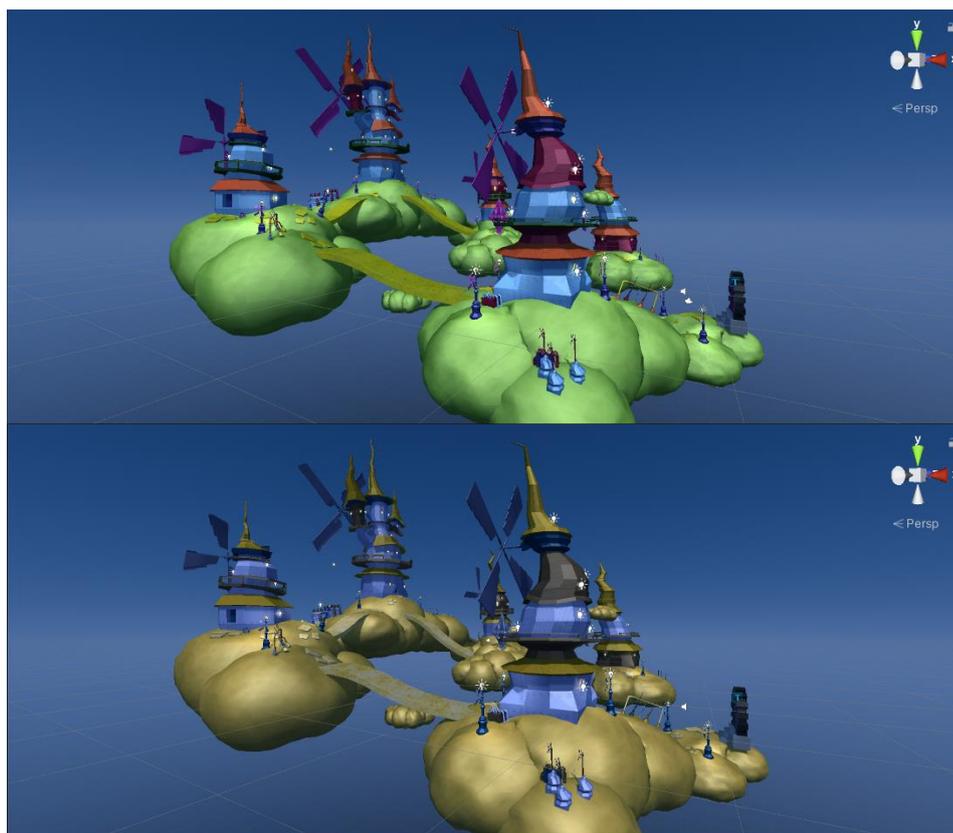
**Figura 72.** Perspetiva de topo do Bosque Gigante. Cima: versão tricromata; baixo: versão protanopa. Imagens de autoria própria.



**Figura 73.** Portal das Nuvens Mágicas. Cima: versão tricromata; baixo: versão deuteranopa. Imagens de autoria própria.



**Figura 74.** Destino das Nuvens Mágicas. Cima: versão tricromata; baixo: versão deuteranopa. Imagens de autoria própria.



**Figura 75.** Perspetiva das Nuvens Mágicas. Cima: versão tricromata; baixo: versão deuteranopa. Imagens de autoria própria.



**Figura 76.** Perspetiva das Nuvens Mágicas. Cima: versão tricromata; baixo: versão deuteranopa. Imagens de autoria própria.



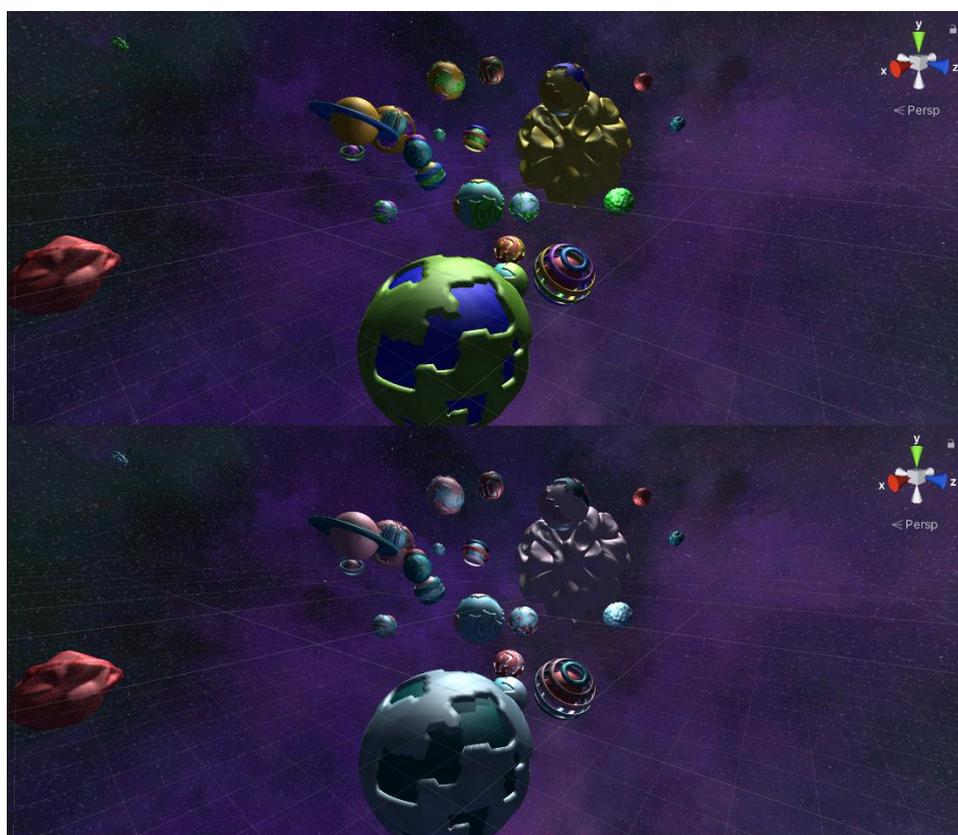
**Figura 77.** Portal do Mundo Muitos Mundos. Cima: versão tricromata; baixo: versão tritanopa. Imagens de autoria própria.



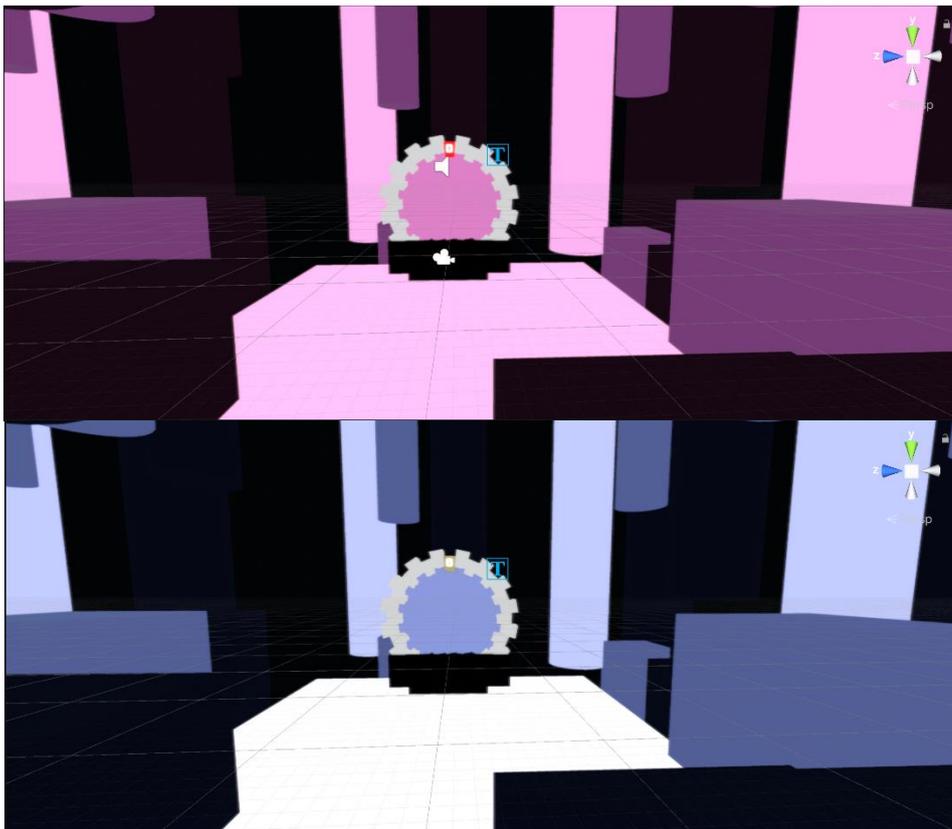
**Figura 78.** Destino do Mundo Muitos Mundos. Cima: versão tricromata; baixo: versão tritanopa. Imagens de autoria própria.



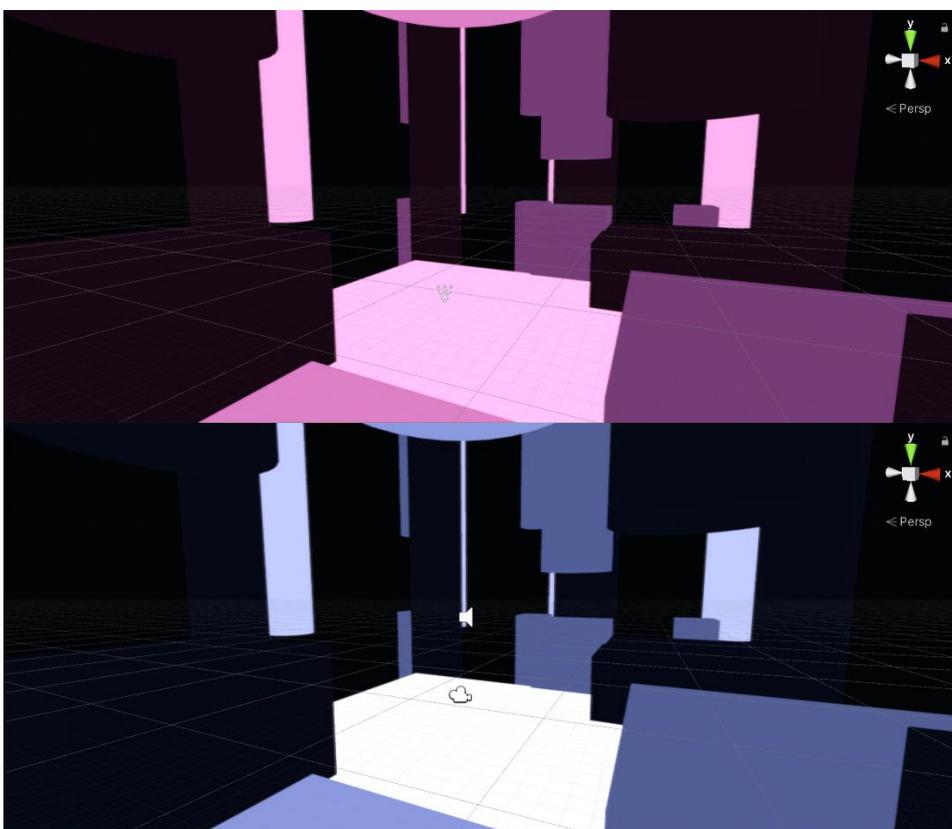
**Figura 79.** Perspetiva do Mundo Muitos Mundos. Cima: versão tricromata; baixo: versão tritanopa. Imagens de autoria própria.



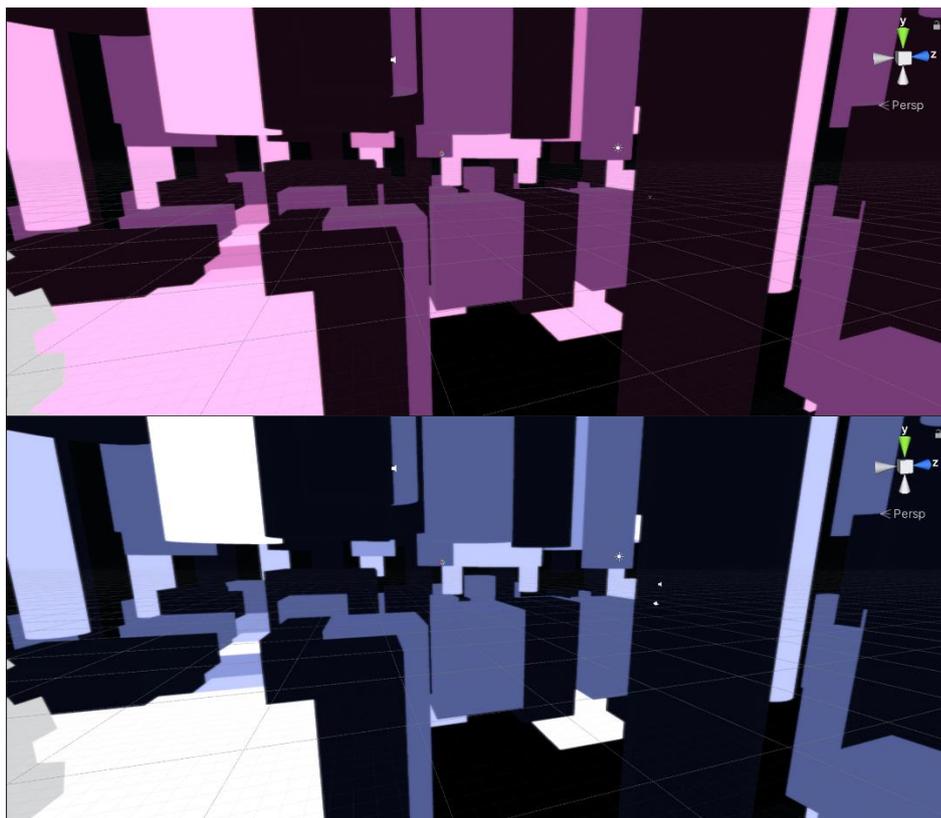
**Figura 80.** Perspetiva do Mundo Muitos Mundos. Cima: versão tricromata; baixo: versão tritanopa. Imagens de autoria própria.



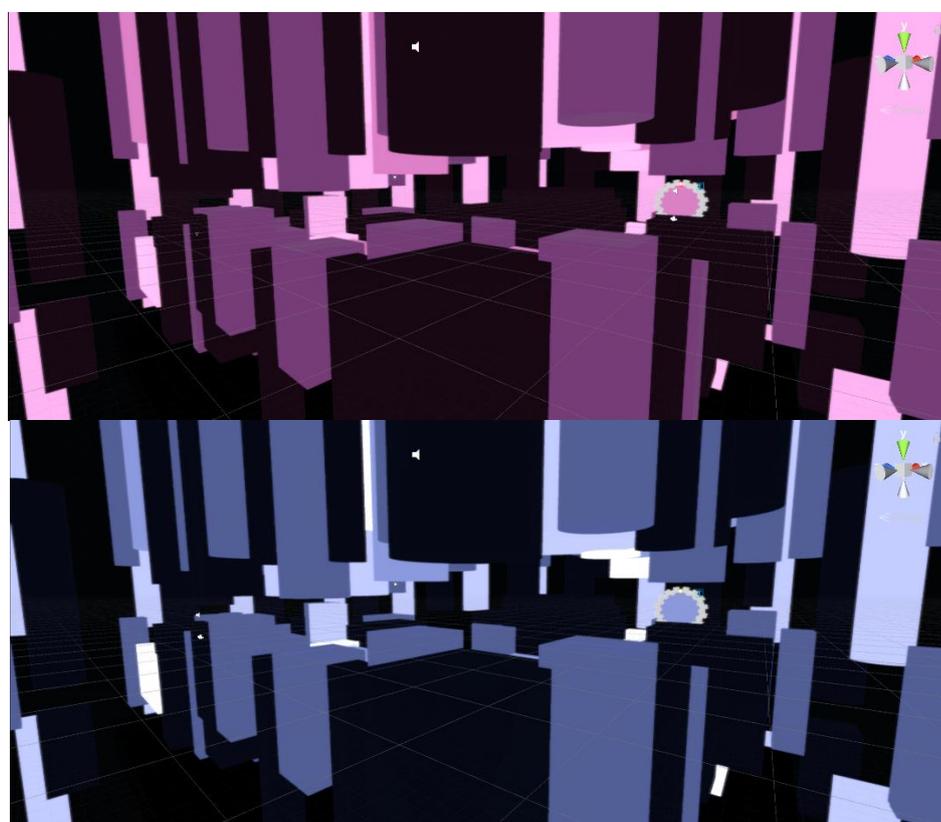
**Figura 81.** Portal do Jogo. Cima: versão tricromata; baixo: versão protanopa. Imagens de autoria própria.



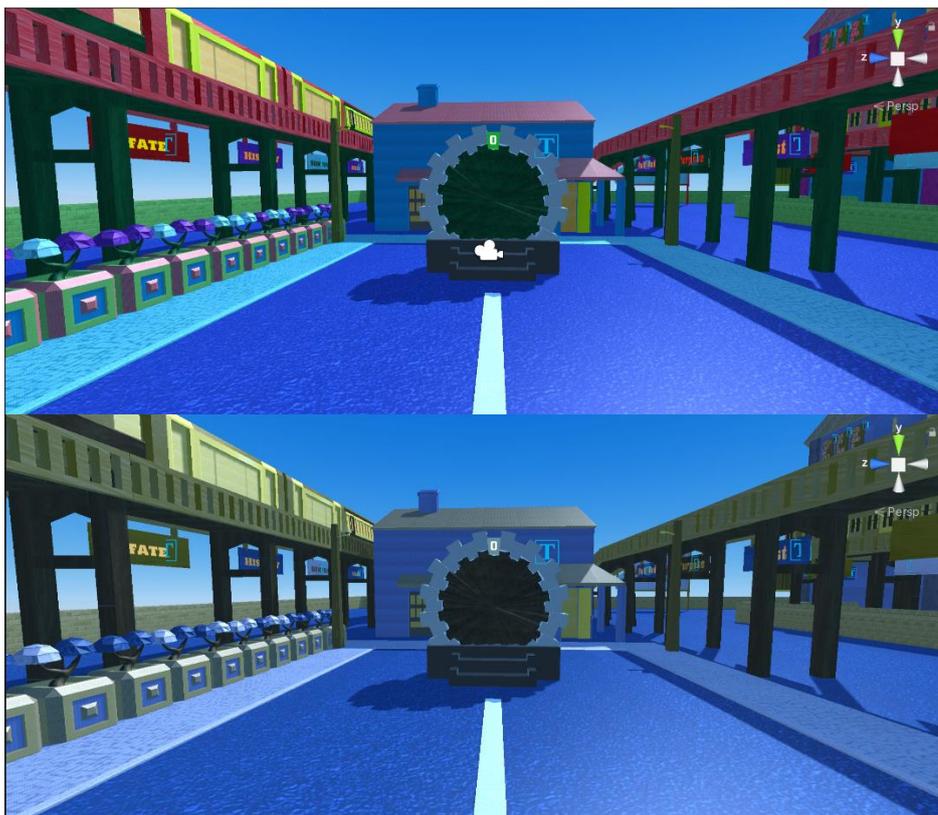
**Figura 82.** Destino do Jogo. Cima: versão tricromata; baixo: versão deuteranopa. Imagens de autoria própria.



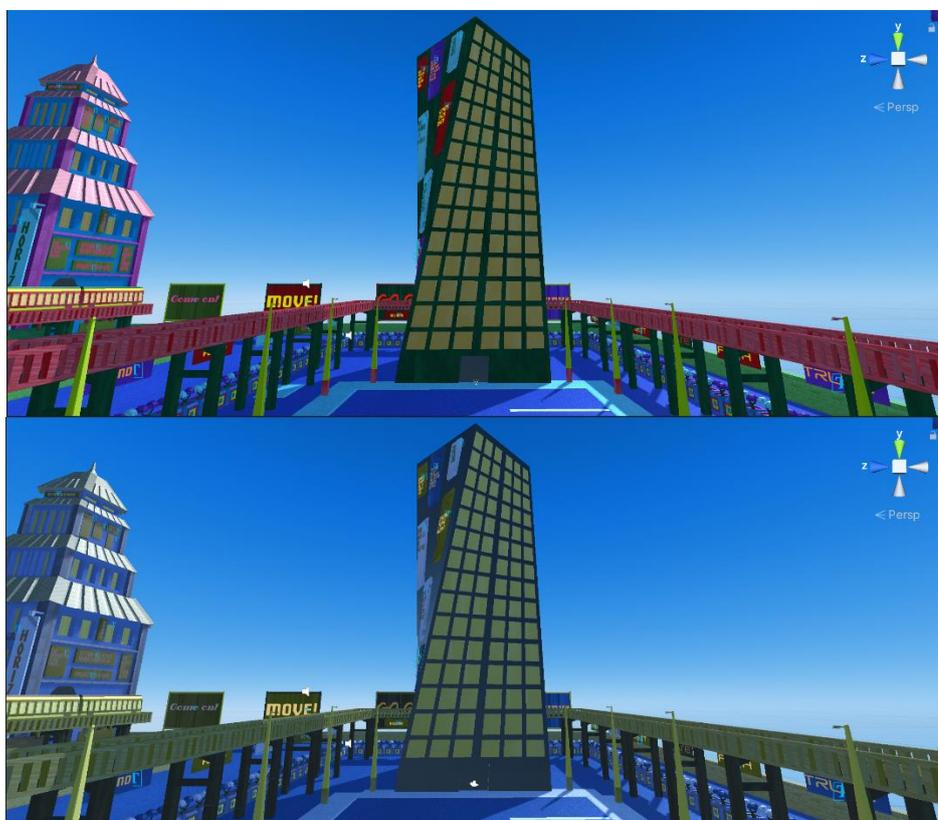
**Figura 83.** Perspetiva do Jogo. Cima: versão tricromata; baixo: versão deuteranopa. Imagens de autoria própria.



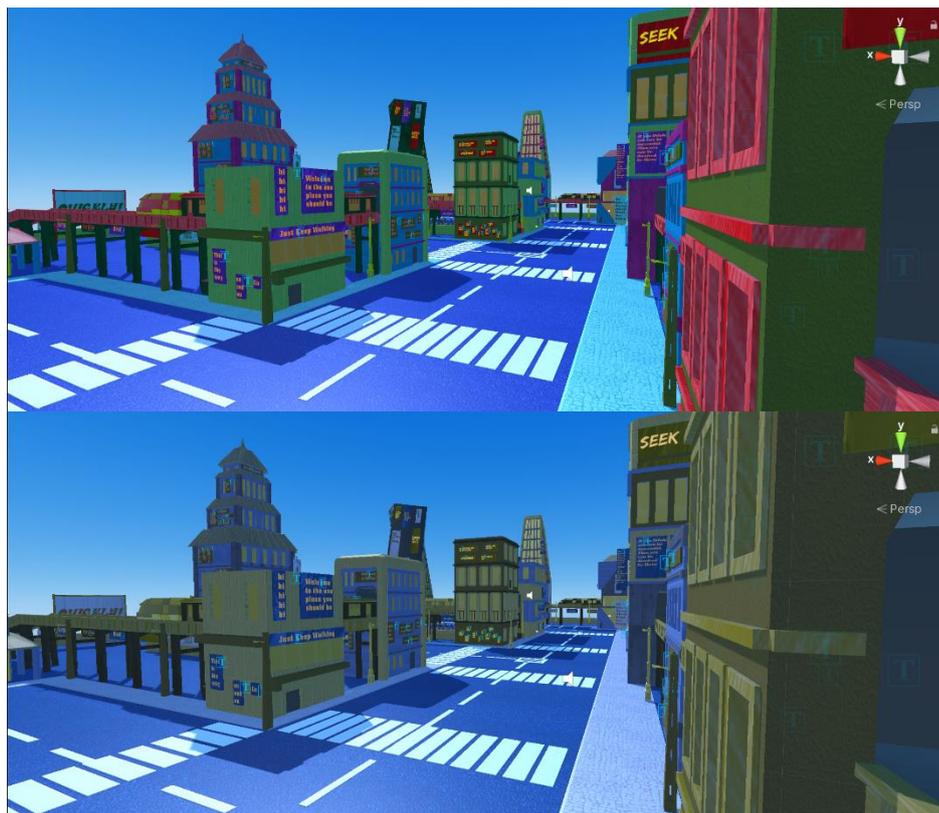
**Figura 84.** Perspetiva do Jogo. Cima: versão tricromata; baixo: versão deuteranopa. Imagens de autoria própria.



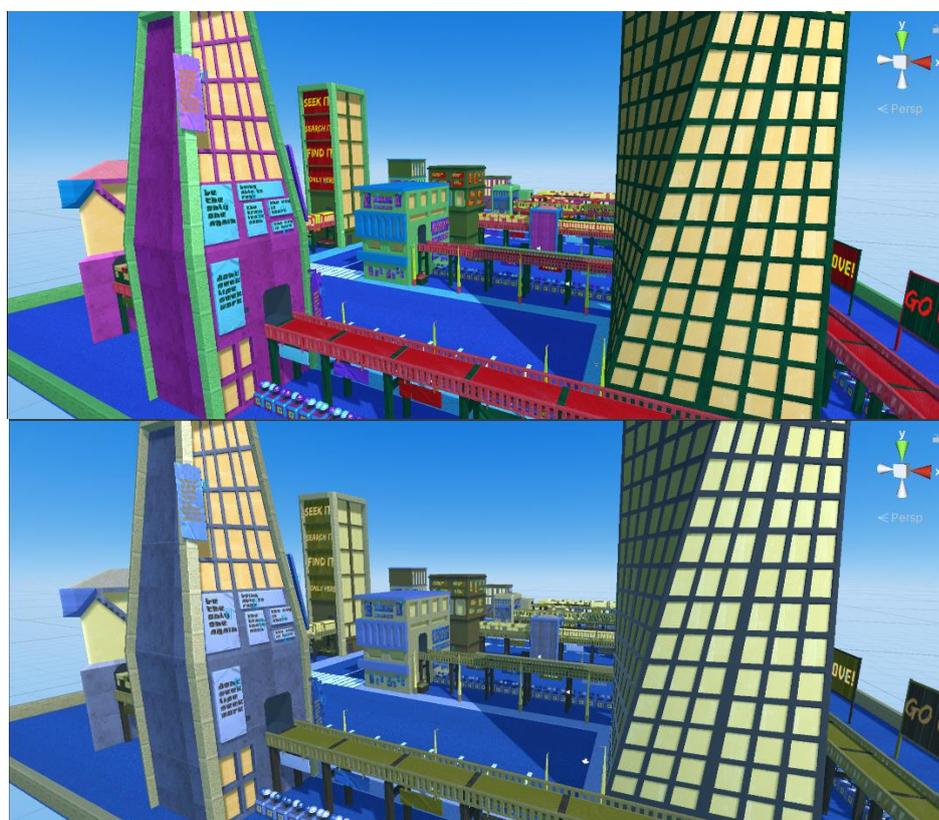
**Figura 85.** Portal da Cidade do Progresso. Cima: versão tricromata; baixo: versão protanopa. Imagens de autoria própria.



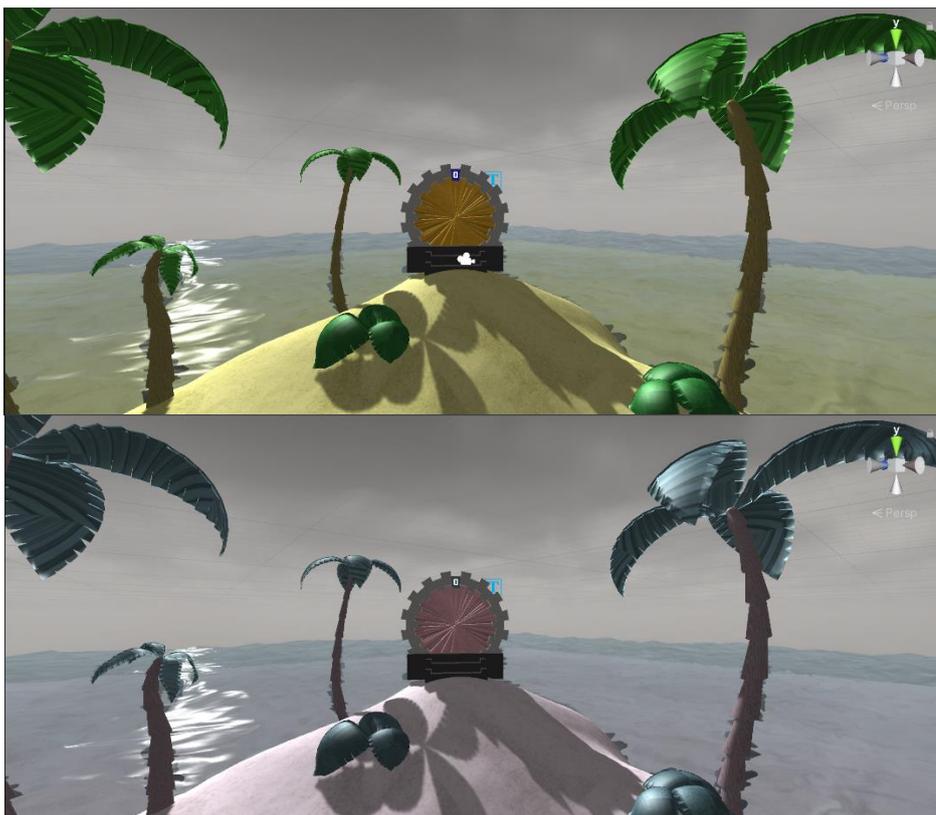
**Figura 86.** Destino da Cidade do Progresso. Cima: versão tricromata; baixo: versão protanopa. Imagens de autoria própria.



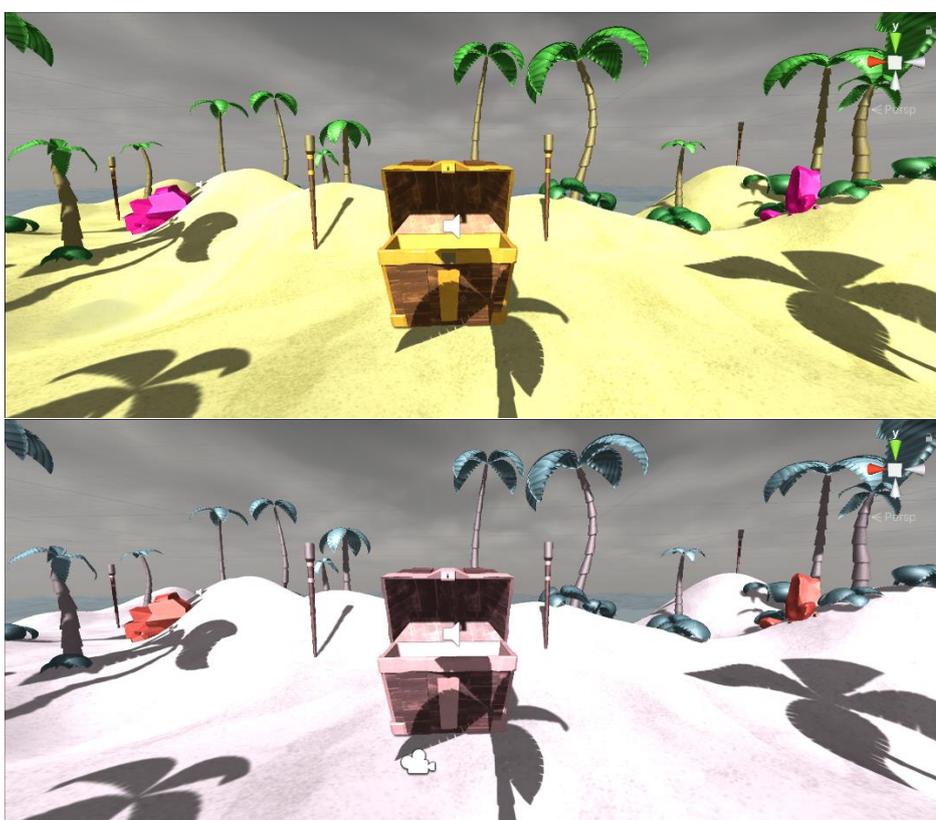
**Figura 87.** Perspetiva da Cidade do Progresso. Cima: versão tricromata; baixo: versão protanopa. Imagens de autoria própria.



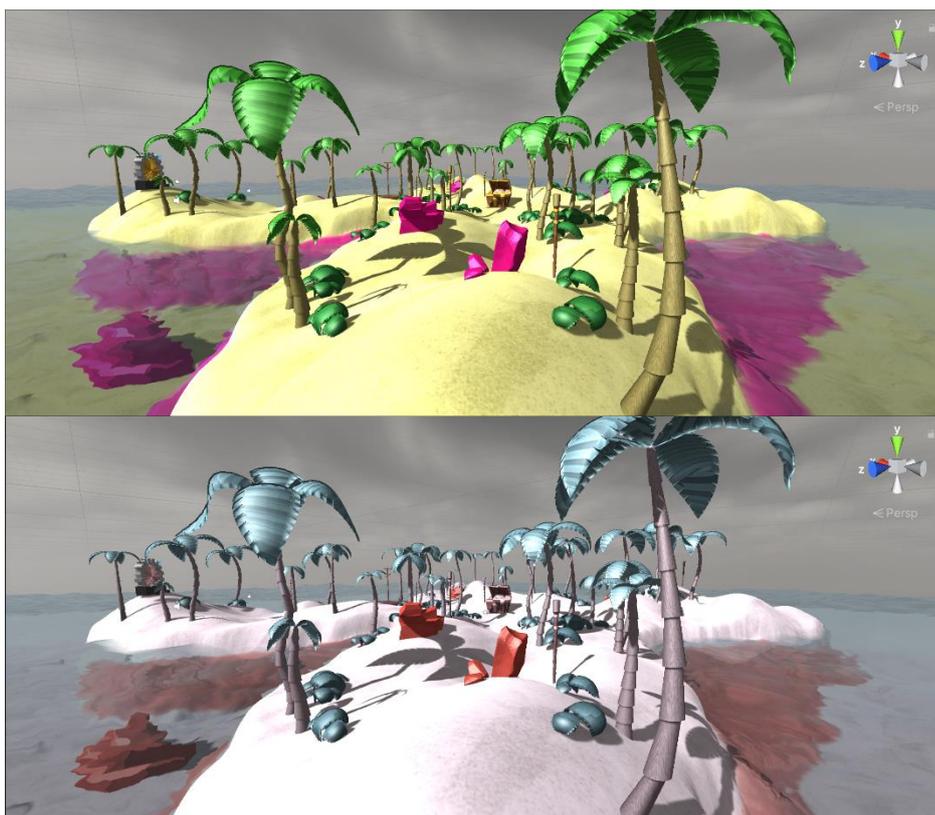
**Figura 88.** Perspetiva da Cidade do Progresso. Cima: versão tricromata; baixo: versão protanopa. Imagens de autoria própria.



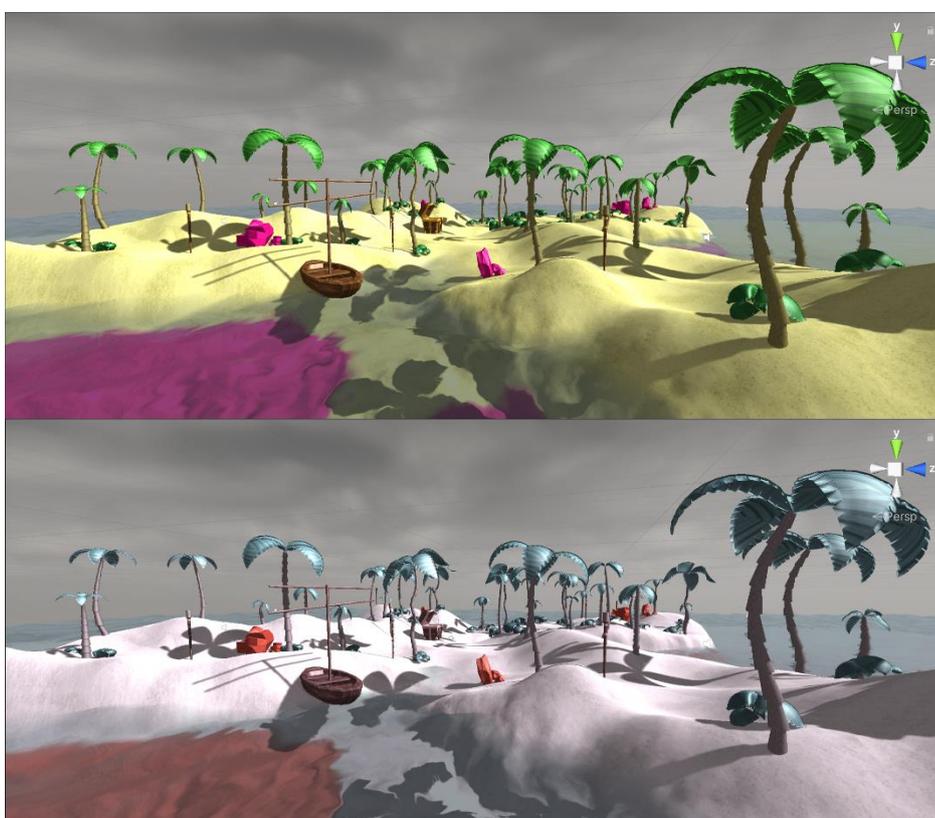
**Figura 89.** Portal da Ilha do Tesouro. Cima: versão tricromata; baixo: versão tritanopa. Imagens de autoria própria.



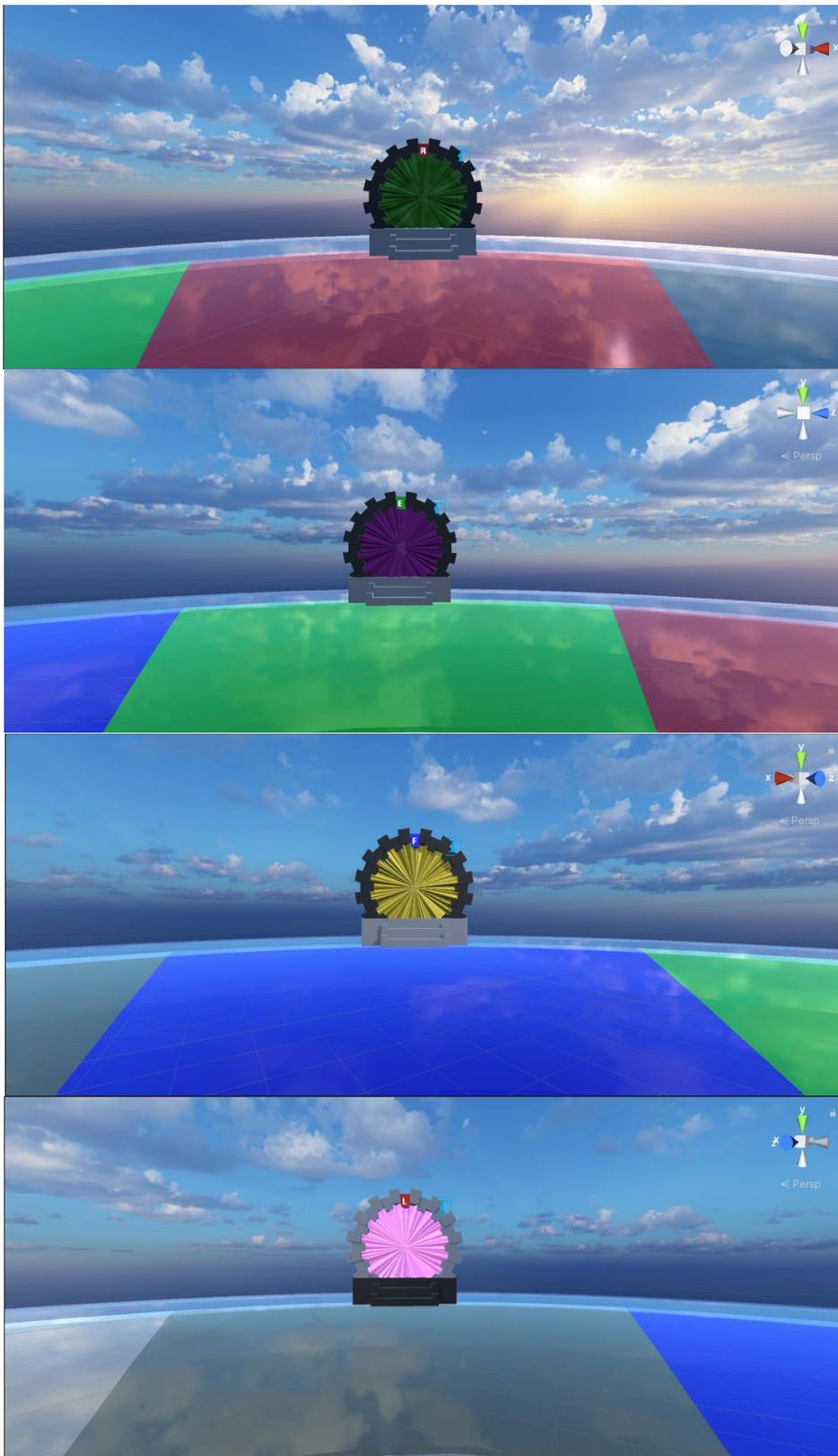
**Figura 90.** Destino da Ilha do Tesouro. Cima: versão tricromata; baixo: versão tritanopa. Imagens de autoria própria.



**Figura 91.** Perspetiva da Ilha do Tesouro. Cima: versão tricromata; baixo: versão tritanopa. Imagens de autoria própria.



**Figura 92.** Perspetiva da Ilha do Tesouro. Cima: versão tricromata; baixo: versão tritanopa. Imagens de autoria própria.





**Figura 93.** Portais de acesso aos Ambientes Virtuais. Imagens de autoria própria.