

**Uma experiência em Natureza fechada**  
Luísa Faria de Gusmão Guedes

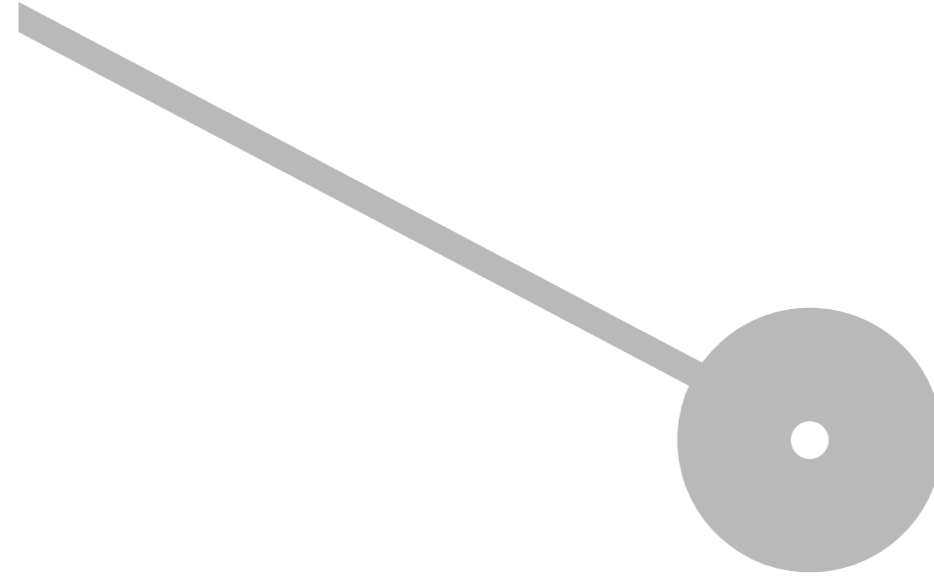
10/2021

Luísa Faria de Gusmão Guedes. Uma experiência em Natureza fechada

**Uma experiência em Natureza  
fechada**

Luísa Faria de Gusmão Guedes

10/2021



Politécnico do Porto  
Escola Superior de Media Artes e Design

Luísa Faria de Gusmão Guedes

**Uma experiência em Natureza fechada**

Trabalho de Projeto

**Mestrado em Sistemas e Media Interativos**

Orientação: Prof. Doutor Rodrigo Carvalho

Coorientação: Prof. Dr. João Azevedo

Vila do Conde, outubro de 2021

Luísa Faria de Gusmão Guedes

## Uma experiência em Natureza fechada

Trabalho de Projeto  
Mestrado em Sistemas e Media Interativos

### Membros do Júri

Presidente

Prof.<sup>a</sup> Doutora Olívia Marques da Silva

Escola Superior de Media Artes e Design – Instituto Politécnico do Porto

Orientador

Prof. Doutor Rodrigo Carvalho

Escola Superior de Media Artes e Design – Instituto Politécnico do Porto

Arguente

Prof. Doutor Horácio Tomé Marques

Escola Superior de Media Artes e Design – Instituto Politécnico do Porto

Vila do Conde, outubro de 2021



## AGRADECIMENTOS

A ajuda do Professor Rodrigo Carvalho, meu orientador, foi inestimável para a concretização deste projeto. Foi graças ao seu encorajamento e ao seu minucioso acompanhamento do meu trabalho que este chegou ao seu termo. Dedico-lhe uma palavra especial de agradecimento.

Também o auxílio do Professor João Azevedo, meu coorientador, foi fundamental para a compreensão e desenvolvimento de muitas das soluções que permitiram a concretização do projeto. Por isso, e também pela sua ajuda na preparação da demonstração, o meu muito obrigada.

Quero agradecer ainda, reconhecida, ao Professor Luís Leite e ao Professor Luís Félix por sempre se mostrarem disponíveis para me ajudarem a resolver os problemas que foram surgindo ao longo do meu trabalho.

Aos meus amigos, especialmente à Carla Parrilha, ao Francisco Almeida, ao João Araújo e ao Pedro Costa, agradeço toda a ajuda e incentivo que me deram. Obrigada por nunca me deixarem desistir.

Por fim, agradeço aos meus pais, que sempre me apoiaram na minha vida e ao longo do meu percurso académico.

## RESUMO ANALÍTICO

O projeto “Uma experiência em Natureza fechada” é uma instalação artística que propõe uma experiência que mergulha o participante num ambiente natural simulado em que as suas ações são um reflexo simbólico da responsabilidade humana na degradação ambiental.

Para esse efeito, foi criado um espaço imersivo digital que representa um ambiente natural, sendo o participante convidado a visitá-lo não só através de um *headset* de realidade virtual, mas também a interagir com elementos naturais – três árvores – que existem simultaneamente, e de forma síncrona, na paisagem digital e no interior da sala fechada em que o participante efetivamente se movimenta. Essa interação tem como resultado provocar uma deterioração dos elementos naturais modelados.

A narrativa que está na base desta experiência sensível, intelectual e estética pretende evidenciar a ligação intrínseca que o ser humano tem com a natureza e os resultados nefastos da ação antrópica sobre o mundo, promovendo a consciencialização da urgência de ações de reparação e conservação ambiental.

Um inquérito realizado aos participantes demonstrou que se conseguiu criar um ambiente imersivo e, se bem que nem todos tenham compreendido o verdadeiro significado de parte das animações, a conexão com o simbolismo da destruição foi aparentemente conseguida.

Esta instalação insere-se no âmbito da arte ambiental, um movimento que, a partir da segunda metade do século XX, procura estabelecer uma forte relação entre prática artística e ação ecológica.

**Palavras-chave:** Virtualidade aumentada; Arte ambiental; Instalação; Interatividade; Realidade virtual.

## ABSTRACT

The project “An experience in enclosed Nature” is an artistic installation that proposes an experience that immerses the participants in a simulated natural environment where their actions constitute a symbolic reflection of the harmful human actions towards nature.

An immersive digital space was created for that purpose, representing a natural environment that the participants were able to visit by wearing a virtual reality headset while interacting with real natural elements – three trees – that existed simultaneously, and synchronously, in the digital landscape and in the closed room where the experience took place. The interaction that occurred had as outcome the decay of the modelled natural elements.

This sensitive, intellectual and aesthetic experience told a story: the intrinsic connection that human beings have with nature and the harmful results of anthropic action on the world, in this way aiming to promote awareness of the urgent need of actions to restore and conserve the environment.

A survey held for the participants showed that the creation of an immersive environment was successful and that, even though not all of the participants understood the real significance of some of the animations, the connection with the symbolism of destruction was at least partially achieved.

This installation falls within the scope of environmental art, a movement that, from the second half of the 20<sup>th</sup> century, has sought to establish a strong relationship between artistic practice and ecological action.

**Keywords:** Augmented Virtuality; Environmental art; Installation; Interactivity; Virtual reality.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....	13
1.1 Contextualização.....	13
1.2 Objetivos .....	13
1.3 Metodologia .....	14
CAPÍTULO 2 - ESTADO DA ARTE .....	15
2.1 Natureza na arte .....	15
2.2 Arte digital e instalação.....	16
2.3 Realidade virtual e realidade mista .....	17
2.4 Projeção de ambientes naturais digitais .....	18
2.5 Da natureza para a galeria.....	19
2.6 Recriar a realidade .....	20
2.7 Instalações em realidade virtual e mista.....	21
2.7.1 Personificação de elementos naturais.....	21
2.7.2 Destruição de um ambiente natural.....	23
2.7.3 O real intocável.....	24
2.8 Criação de ligações.....	25
CAPÍTULO 3 - Uma experiência em Natureza fechada .....	26
3.1 Introdução.....	26
3.2.1 The Red Thread of Fate.....	26
3.2.2 Planeamento do percurso na experiência .....	27
3.3 Modelações e animações no Blender .....	28
3.3.1 Tentativa de modelação no Unity.....	28
3.3.2 Fotogrametria .....	29
3.3.3 Modelação das árvores no Blender.....	29
3.3.4 Animação das árvores.....	30
3.3.5 Modelação da fauna .....	31
3.4 Recriação da realidade no Unity.....	32
3.4.1 Assets.....	32
3.4.2 Visualizar em realidade virtual .....	33
3.4.3 O terreno .....	33
3.4.4 Povoamento do espaço.....	35
3.4.5 Componente Sonora .....	36

3.5	Elementos de interação .....	38
3.5.1	A interação com as árvores digitais .....	39
3.5.2	Implementação do fio vermelho.....	43
3.6	A implementação .....	45
3.6.1	A escolha das árvores.....	45
3.6.2	Sincronização do real com o virtual .....	45
3.7	Aspetos técnicos.....	48
3.7.1	Hardware.....	48
3.7.2	Otimização.....	49
CAPÍTULO 4 – VALIDAÇÃO DA EXPERIÊNCIA.....		50
4.1	Observações finais .....	51
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO .....		52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		53
ANEXOS.....		57
I	Screenshots.....	57
II	Fotografias.....	60
III	Código.....	61
IV	Questionário.....	65

## Lista de tabelas/ilustrações/siglas

Figura 1 - Reality-Virtuality Continuum introduzido por Paul Milgram e Fumio Kishino.....	18
Figura 2 - Espaço da instalação digital "Forest of Flowers and People: Lost, Immersed and Reborn", teamLab, teamLab Borderless: Mori Building Digital Art Museum, 2017.....	19
Figura 3 - Instalação "is a rose", Charlotte Triebus, I Engineer, Spinnerei Leipzig, 2019. ....	20
Figura 4 - Cenário digital de "Treehugger", Marshmallow Laser Feast.....	21
Figura 5 - Instalação "Treehugger", Marshmallow Laser Feast, 2016. ....	21
Figura 6 - Cenário digital de "In the Eyes of the Animal", Marshmallow Laser Feast.....	22
Figura 7 - Experiência do projeto "In the Eyes of the Animal", Marshmallow Laser Feast, 2016.	22
Figura 8 - Instalação "RE-ANIMATED", Jakob Steense, Instalação em Realidade Virtual, Pylon Center, Dresden, Alemanha, 2018.....	23
Figura 9 - Cenário digital de RE-ANIMATED, Jakob Steensen. ....	23
Figura 10 - Instalação "Tree", Milica Zec e Winslow Porter, 2017.....	23
Figura 11 - Cenário digital de "Tree", Milica Zec e Winslow Porter.....	23
Figura 12 - Instalação "A Walk Through The Line", Chiharu Shiota, Pafos2017 European Capital of Culture: Open Air Factory, 2017.....	25
Figura 13 - Diagrama do esquema de interação com as três árvores e o círculo. ....	28
Figura 14 - Screenshot de um resultado de uma fotogrametria.....	29
Figura 15 - Screenshot do estado inicial da primeira árvore no Unity.....	30
Figura 16 - Screenshot do estado final da animação da morte da primeira árvore no Unity.....	30
Figura 17 - Screenshot do modelo da borboleta no Blender. ....	31
Figura 18 - Screenshot do modelo do pássaro no Blender. ....	31
Figura 19 - Os assets utilizados no projeto e as suas funções.....	32
Figura 20- Nodes utilizados para gerar o terreno no World Machine.....	33
Figura 21 - Terreno gerado no World Machine.....	33
Figura 22 -Screenshot da mistura de texturas do terreno.....	34
Figura 23 - 1.ª fase do desenvolvimento do cenário no Unity.....	34
Figura 24 - Fase final do cenário, encoberto pelo nevoeiro, no Unity. ....	34
Figura 25 - Screenshot do voo dos pássaros acima do espaço da experiência. ....	35
Figura 26 - Código do script "Bird Spawner" (cria instâncias dos pássaros). ....	36
Figura 27 - Trilho à volta das árvores do som do grilo.....	37
Figura 28 - Código do script "steps", responsável pela reprodução do som que simula os passos. ....	38
Figura 29 - Código relativo à função KillTrees do script AtivarAnim, responsável por calcular o nível da animação (percentagem da animação que é mostrada).....	40
Figura 30 - Diagrama da Instalação.....	41
Figura 31 - Trilho efetuado pelas borboletas.....	42
Figura 32 - Screenshot da renderização de um percurso (a linha vermelha).....	43
Figura 33 - Código do script "FollowTrail", responsável pela renderização da linha vermelha. .	44
Figura 34 - Movimentação física de um dos participantes.....	46
Figura 35 - Posicionamento das árvores no espaço da instalação.....	46
Figura 36 - A mesma interação com a terceira árvore, mas no ambiente virtual.....	46
Figura 37 - Interação física com a terceira árvore.....	46

Figura 38 - Código do script “HandPinchSelect”, encarregado de relocalizar o utilizador no início da experiência.....	47
Figura 39 - Gesto usado no início da experiência para relocalizar a posição do utilizador. ....	48
Figura 40 - Interação com a primeira árvore, no Oculus. ....	57
Figura 41 - Screenshot de uma instância da borboleta, no Oculus.....	57
Figura 42 - Interação com a terceira árvore, no Oculus. ....	58
Figura 43 - A degradação de duas árvores e uma renderização da linha vermelha. ....	58
Figura 44 - Screenshot do espaço virtual, no Unity.....	59
Figura 45 - Screenshot das três árvores, da perspetiva do utilizador, no Unity.....	59
Figura 46 - A primeira árvore e a marca no chão que indica o local onde a experiência é iniciada. ....	60
Figura 47 - Registo fotográfico de uma das experiências.....	60
Figura 48 - Código completo do script "Bird Spawner" (cria instâncias dos pássaros).....	61
Figura 49 - Script atribuído à segunda árvore para realizar a transição para a noite.....	62
Figura 50 - Código completo do script "Follow Trail", responsável pela renderização da linha vermelha. ....	63
Figura 51 - Código completo do script “HandPinchSelect”, encarregado de relocalizar o utilizador no início da experiência.....	64
Figura 52 - Respostas, em percentagem, da primeira parte do questionário. ....	65
Figura 53 - Respostas, em percentagem, da segunda parte do questionário e respostas individuais à questão aberta.....	66

## Glossário

Add-on – adicionado ao programa.

Armature – conjunto de ossos.

Asset – representação de qualquer item que pode ser usado no Unity.

Blender – software de modelação 3D.

Child – um gameObject inserido num outro gameObject na hierarquia do Unity.

Ficus benjamina – árvore das florestas tropicais da Ásia, de folha pequena e persistente, usada frequentemente como árvore ornamental de interior nos climas temperados.

Framerate – frequência do surgimento das imagens, usando como unidade o segundo.

Frames – imagem individual numa sequência de imagens.

gameObjects – qualquer objeto na hierarquia do Unity.

Headset de realidade virtual - dispositivo que permite experienciar realidade virtual, que se coloca na cabeça.

Keyframes – imagens ou fotogramas que definem estados da animação.

Lowpoly – existência de poucos polígonos numa *mesh*.

Mesh – coleção de vértices, arestas e faces que compõem a forma de um objeto 3D.

Nodes – pontos de informação interligados.

Normal maps – tipos de textura que permitem adicionar detalhes do relevo.

Oculus Quest 2 – headset de realidade virtual da Oculus, lançado em 2020.

Png – formato de compressão de imagem sem perda de qualidade.

Prefab – objeto pré-feito.

Refresh rate – taxa de refrescamento da imagem num ecrã, expressa em imagens por segundo.

Script – um ficheiro de código que permite controlar o comportamento de gameObjects no Unity.

Skyboxes – materiais que são o resultado de uma imagem 360° usada para revestir o céu.

Unity – motor de jogo.

Videomapping – técnica de projeção de vídeo em superfícies irregulares.

World Machine – software de criação de terrenos à base de *nodes*.

# CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

Apesar dos espaços naturais serem fundamentais para a sobrevivência do ser humano, as civilizações urbanas avançadas ainda não dão a devida prioridade à preservação ambiental. Este talvez seja um aspeto que esteja em mudança, mas a natureza ainda é vista como um recurso e não é tratada de forma sustentável. Por causa disto, a nível global, verifica-se anualmente a perda de milhões de hectares florestais<sup>1</sup>, apesar de uma crescente preocupação sobre o estado do planeta.

Ainda que na cidade do Porto existam vários espaços verdes acessíveis aos habitantes, a tecnologia pode ajudar a criar formas de sensibilizar a população para a fragilidade destas áreas naturais. Foi o que se tentou com este projeto, concebendo digitalmente um espaço natural em que a ação humana provoca efeitos imediatamente visíveis. Para que a experiência fosse imersiva e marcante, recorreu-se à realidade virtual porque esta oferece não só a oportunidade de criar e experienciar novos mundos, mas também a possibilidade de recriar a realidade. Neste projeto utilizou-se um *headset Oculus Quest*<sup>2</sup> devido à possibilidade de este funcionar sem computador externo e cabos, dando uma maior liberdade de movimento ao utilizador, e também porque permite programar uma interação síncrona entre o real e o virtual através de câmaras que leem a posição das mãos e permitem interpretar os gestos.

## 1.2 Objetivos

Pretende-se com este trabalho criar uma experiência que replica o sentimento de estar presente num espaço natural. A realidade virtual é complementada com elementos naturais reais, ou seja, o projeto insere-se no âmbito da *augmented virtuality* (virtualidade aumentada) por promover uma ligação física. Embora imerso no mundo virtual, o utilizador pode interagir ocasionalmente com a componente real da instalação.

O objetivo último é realçar e fortalecer a ligação inevitável que o ser humano tem com a natureza, recorrendo ao auxílio de tecnologia que não só tenta recriar o natural, como também evidenciar o impacto que o ser humano pode causar nos espaços naturais. Esta instalação pretende, então, demonstrar essa ligação, mas exprimindo a ideia de que a exploração abusiva da natureza provoca a sua deterioração. Pretende-se, de alguma forma, ir além do discurso de preservação ambiental – que, aliás, ao banalizar-se perde alguma da sua força operativa –, criando uma experiência sensível, intelectual e estética que une o real com o virtual e coloca o público perante as consequências negativas da intervenção do ser humano em espaços naturais.

---

<sup>1</sup>Fonte: <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/>. Acedido a 1 de setembro de 2021.

<sup>2</sup>Headset de realidade virtual da Oculus, lançado em 2020. [https://www.oculus.com/quest-2/?locale=pt\\_PT](https://www.oculus.com/quest-2/?locale=pt_PT). Acedido a 14 de setembro de 2021.

### 1.3 Metodologia

Após a pesquisa de diferentes instalações e aplicações que têm como tema o ambiente, quer de forma direta ou indireta, adotou-se uma metodologia de “Practice-based Research”, uma vez que foi perante as necessidades específicas do projeto que se desenvolveram estratégias de investigação que levaram à resolução prática dos problemas que surgiram. Sob esse ponto de vista, e como indica Candy (2006, p. 3), os resultados do projeto foram fundamentais para perceber a orientação seguida e a originalidade da abordagem.

Ao pôr em destaque a relação causa-efeito entre o participante e o meio ambiente através de um meio digital, pretendeu-se colocar em foco a ligação inevitável com a natureza recorrendo à realidade virtual. Ao mesmo tempo, procurou-se consciencializar o público sobre os efeitos negativos que um contacto abusivo e inconsciente provoca nos espaços naturais. De forma a criar uma experiência fidedigna, aproximada da realidade, foram trabalhados vários elementos que, conjuntamente, contribuem para a genuinidade da experiência.

De forma a avaliar a experiência do utilizador e para verificar se a instalação foi eficaz no seu propósito de consciencialização ambiental, foi realizado um questionário com questões fechadas, de expressão quantitativa, e observações de carácter qualitativo. A experiência de todos os participantes foi observada, sendo redigidas anotações com base nessas observações.

## CAPÍTULO 2 - ESTADO DA ARTE

Neste capítulo, aborda-se a irrupção da natureza real, e não apenas figurada, na arte contemporânea a partir da segunda metade do século XX, desde as intervenções artísticas na natureza até à arte que tem como preocupação central o ambiente. Descreve-se como a ‘instalação’ se desenvolve como meio de expressão artística e o seu relacionamento com a tecnologia, levando à criação de obras tridimensionais com elementos digitais.

Neste âmbito, analisa-se o desenvolvimento de conceitos que cruzam o mundo digital com o mundo real e projetos recentes que utilizam técnicas avançadas para a criação artística de ambientes naturais simulados, desenvolvendo mecanismos de imersão e de interação com o utilizador, ou, então, projetos que se limitam a transformar a natureza em objeto artístico, trazendo-a para o interior da galeria de arte. Finalmente, aborda-se o trabalho de uma artista que, mantendo-se embora no espectro da realidade física, cria ligações visíveis entre os diferentes elementos que povoam um espaço, ou cria elementos compostos dessas ligações.

### 2.1 Natureza na arte

Apesar da natureza ser um tema recorrente no campo artístico, com o aparecimento da *Land Art* nos anos 60, que surgiu do movimento minimalista, aconteceu uma mudança de paradigma que possibilitou retratar a natureza de diversas outras formas. Num período inicial, os artistas da *Land Art* recusam o espaço convencional de exposição, escolhendo a natureza como o próprio lugar de criação e exposição da obra artística (Beardsley, J., 2006, p. 7). Os espaços naturais passam, então, a fazer parte do trabalho artístico. Disso é exemplo a “Spiral Jetty” (1970) de Robert Smithson, que utiliza elementos naturais, esculpindo a obra diretamente na natureza (Ruhrberg, K et al. 2012, p. 545). Mas também, num movimento inverso, os elementos naturais foram trazidos para espaços interiores de exposição (Kastner & Wallis, 1998, p. 12). A *Land Art* originou novas práticas artísticas, sendo uma delas a arte ambiental, com interesses ecológicos (Collins, 2012, p. 3), onde podemos destacar vários outros artistas, como por exemplo Robert Morris, Joseph Beuys e Agnes Denes. Robert Morris, um dos fundadores da *Land Art*, reabilitou locais previamente utilizados para fins industriais, renaturalizando-os e transformando-os em locais vivos e visitáveis, como foi o caso do “Johnson Pit #30”, em 1979, obra que surge na sequência do simpósio “Earthworks: Land Reclamation as Sculpture”<sup>3</sup>. Nos anos 60, Joseph Beuys liderou protestos a favor do ambiente (Adams, D., 1992, p. 27) e a sua ação “Save the Woods” (1971) consistiu num protesto contra a desflorestação que “envolia participantes que andavam pela floresta, pintando cruces brancas e anéis em todas as árvores destinadas a serem cortadas” (Blandy, D. et al., 1998, p. 233). Agnes Denes preocupava-se com o impacto do ser humano nos espaços naturais e a relação existente entre os dois. Um dos seus trabalhos consistiu na revitalização de um espaço degradado pela ação antrópica: em “Wheatfield, a Confrontation” (1982), a artista plantou cerca de um hectare de trigo num aterro em Manhattan, com o intuito de consciencializar o público para problemas ecológicos. (Denes, A., 1993, p. 389).

---

<sup>3</sup> Fonte: <https://kingcounty.gov/depts/records-licensing/archives/exhibits/earthworks.aspx#TheArtistsDesign>. Acedido a 2 de setembro de 2021.

Presentemente, é difícil ignorar os vários problemas ambientais presentes em todo o globo, como é o caso das alterações climáticas e a extinção de várias espécies. Esta consciência deu origem a vários movimentos que se interessaram por debater estas questões, assim como por encontrar soluções para reduzir o impacto crescente do ser humano sobre o ambiente (Demos, 1969). São então as preocupações ambientais que passam a estar no centro do interesse dos artistas, assim alterando o paradigma da agenda cultural (Mendes, 2012, p. 18) através de criações artísticas contemporâneas que viabilizam novas formas de observar e interpretar a natureza.

Este tópico também já ganhou espaço no meio académico, de que é exemplo o *Master of Arts in Art & Ecology*, uma pós-graduação na Goldsmiths, uma universidade londrina.<sup>4</sup>

## 2.2 Arte digital e instalação

Surgindo nos anos 60 do séc. XX, a arte digital consiste na incorporação de ferramentas digitais na criação artística. Uma vez que este meio abrange diversas componentes tecnológicas, surgiram diversos termos para classificar obras que se inserem neste campo, como é o caso da arte interativa, da arte generativa ou da *computer art*, cuja especificidade não é fácil de clarificar (Boden, M. A., Edmonds, E. A., 2009, p. 2).

Com o aparecimento destes novos estilos, também surgiu o interesse em expor obras artísticas que refletiam o desenvolvimento tecnológico da altura, abrindo caminho para o crescimento da arte digital que conhecemos hoje. A primeira grande exposição artística de referência da arte computacional foi a *Cybernetic Serendipity*, com curadoria de Jasia Reichardt, de 1968. Nesta exposição, o “Cybernetic Sculpture System”, de Wen-Ying Tsai, já transcendia o digital, sendo um sistema composto por várias peças constituídas por diversos tipos de tubos de aço modelados de formas diferentes, que vibravam à medida que *flashes* de luz alteravam a perceção visual da obra (Benthall, 1969, p.126). Enquanto que nos anos 60 a arte digital era maioritariamente trabalhada com vídeo e som (Paul, 2015, p. 7), hoje em dia os avanços tecnológicos permitem diversas outras possibilidades para a criação e experimentação artística. Aliás, foi a partir dos anos 90 que, devido ao fácil acesso a software e hardware e à implementação e globalização da internet (Paul, 2015, p. 7), se assistiu ao rápido desenvolvimento destas práticas artísticas.

O conceito de ‘instalação’ expandiu a noção daquilo que poderia ser considerado uma obra artística, referindo-se a uma criação tridimensional que se relaciona com o espaço envolvente. A intenção dos artistas é, então, criar um espaço no qual o espetador se sinta envolvido e, assim, crie a sua própria perspetiva da obra (Bishop, 2005, p. 13). A instalação tem ainda um potencial imersivo devido à forma como interage com o espaço (Ibid, p. 14). A obra “The Man Who Flew into Space from his Apartment” (1985) de Ilya Kabakov é específica ao local onde se encontra e, devido à sua tridimensionalidade, coloca “ênfase na presença do utilizador no espaço” (Ibid, p. 20).

---

<sup>4</sup> Fonte: <https://www.gold.ac.uk/pg/ma-art-ecology/>. Acedido a 13 de julho de 2021.

Tal como a arte digital, instalações com elementos digitais também foram apresentadas nos anos 60 (Paul, 2015, p.13), com o objetivo de “criar ambientes que propunham níveis variáveis de imersão, desde peças que procuram envolver os espetadores num ambiente feito de projeções até aquelas que oferecem uma imersão num mundo virtual” (Ibid, p. 71), de que é exemplo o trabalho de Nam June Paik, considerado um dos artistas mais importantes da *video art*<sup>5</sup>, que utiliza segmentos de vídeo exibidos em múltiplos ecrãs, em instalações de grande escala.

### 2.3 Realidade virtual e realidade mista

A realidade virtual, assim cunhada por Jaron Lanier nos anos 80 (Paul, 2015, p. 125), consiste na apresentação de um espaço virtual tridimensional, normalmente experienciado recorrendo a um *headset* de realidade virtual. Note-se que as realidades imersivas não são uma característica exclusiva do meio digital, mas que, ao longo da história, diversas expressões artísticas e arquitetónicas criaram espaços envolventes com propriedades aproximadas daquilo que hoje se chama de ‘imersivo’. Disso são exemplo as pinturas rupestres do período Paleolítico ou os espaços arquitetónicos das igrejas medievais (Ibid, p. 71). Contudo, nas expressões contemporâneas que aqui se referem, e novamente segundo Paul (2015, p. 125), “as questões de corporização vs descorporização e a perceção do espaço têm um papel central nas explorações artísticas da realidade virtual”.

Um dos primeiros projetos que permitia aos utilizadores estarem imersos num ambiente artificial juntamente com outra pessoa, recorrendo a dois *headsets* de realidade virtual, foi o “Placeholder”, de Brenda Laurel e Rachel Strickland, desenvolvido em 1993. Esta experiência permitia ao utilizador tomar o lugar de um corvo num cenário natural virtual, sendo uma das primeiras aplicações onde foi possível experienciar aquilo que seria a visão de outro ser vivo (Dixon, 2006, p.29).

Ivan Sutherland, pioneiro da computação gráfica, criou simuladores gráficos que funcionavam em tempo real, utilizados na simulação de voo. Em 1965, exprimiu o conceito de *Ultimate Display* cujo objetivo seria juntar o mundo digital com o físico e assim alterar o tipo de interação básica que o utilizador tem com o computador: esse *Ultimate Display* seria ultimamente, e nas suas palavras “uma divisão na qual o computador pode controlar a existência de matéria” (Sutherland, I., 1965, p.2). Em 1968 desenvolveu o que é considerado um dos primeiros dispositivos de visualização tridimensional através de meios digitais, assemelhando-se à forma dos dispositivos de realidade virtual atuais, cujo objetivo era que o utilizador se encontrasse rodeado de informação digital à medida que movimentava a cabeça (Sutherland, I., 1968, p. 757).

O conceito de ‘realidade mista’ foi cunhado por Paul Milgram e Fumio Kishino em 1994, conjuntamente com o termo de *reality-virtuality continuum* (Milgram & Kishino, 1994, p. 283), que perspetiva uma linha com duas extremidades: o completamente virtual (realidade virtual) e o completamente real (mundo físico). Tudo o que se encontra no meio desses dois pontos é

---

<sup>5</sup> Fonte: <http://www.artnet.com/artists/nam-june-paik/>. Acedido a 25 de março de 2021.

denominado de realidade mista, como é o caso da realidade aumentada e da *augmented virtuality* (virtualidade aumentada), que amplifica o digital com o real (Ibid, p. 285).

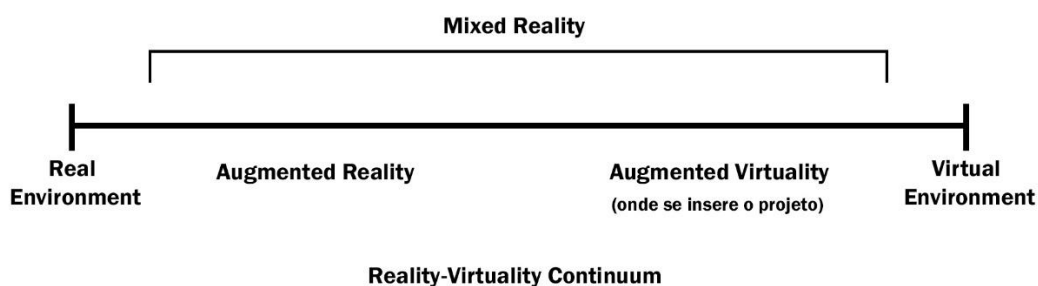


Figura 1 - Reality-Virtuality Continuum introduzido por Paul Milgram e Fumio Kishino.

O projeto “Uma experiência em Natureza fechada”, que se apresenta neste documento, utiliza a realidade virtual, mas também incorpora aspetos da realidade física. Logo, pensa-se ser correto afirmar que se insere no espectro da realidade mista, mais precisamente na *augmented virtuality* (figura 1), uma vez que a elementos virtuais também correspondem alguns elementos reais.

#### 2.4 Projeção de ambientes naturais digitais

Como se disse, a arte ambiental procura consciencializar o público para movimentos em prol do ambiente, abordando os seus problemas atuais, como a desflorestação, as alterações climáticas e o degelo que, no presente, estão certamente também ligados à interferência causada pelo ser humano nos mecanismos naturais.

Existem vários projetos contemporâneos que abordam estes problemas, sendo um deles o “Forest of Flowers and People: Lost, Immersed and Reborn” do coletivo TeamLab (2017). Esta instalação permanente recorre a *videomapping* para preencher o espaço envolvente (paredes e chão) com representações digitais da mudança das estações do ano. Existem flores digitais que vão aparecendo e desabrochando aleatoriamente neste espaço, acabando por morrer, e assim repetindo o ciclo da vida que as rege. No entanto, este ciclo também pode ser interrompido pela ação do ser humano: se o interveniente tocar ou pisar estes seres digitais, eles perdem as suas pétalas e acabam por desaparecer.<sup>6</sup>

Como nesta instalação não é utilizado nenhum elemento físico de carácter natural, nem esta se realiza no exterior, a relação destrutiva do ser humano com a natureza é posta unicamente em evidência através de um meio digital. As ações que levam à destruição do ambiente são evidentes, independentemente de estas serem voluntárias ou acidentais. Assim, se o utilizador quiser preservar este local efémero, terá de prestar atenção aos locais onde circula e aos

<sup>6</sup> Fonte: <https://www.teamlab.art/pt/w/flowerforest/>. Acedido a 20 de março de 2021.

elementos com que interage; se os outros participantes também desejarem o mesmo, poderão apreciar a representação digital de um local natural sem a interferência do ser humano.



Figura 2 - Espaço da instalação digital "Forest of Flowers and People: Lost, Immersed and Reborn", teamLab, teamLab Borderless: Mori Building Digital Art Museum, 2017.

A instalação procura criar um espaço imersivo sem recorrer a *headsets* de realidade virtual através da utilização de vários projetores que cobrem por completo o espaço. Desta forma, consegue-se criar um espaço virtual no qual várias pessoas podem circular, e com o qual também conseguem interagir. Ainda que a componente da interatividade seja uma parte integrante da experiência, esta só existe se o utilizador interferir com os padrões que estão a ser projetados. Além disso, não há nenhum elemento físico distinto que ligue o participante ao mundo físico.

## 2.5 Da natureza para a galeria

Um dos artistas contemporâneos cujo extenso portefólio dá importância à ligação entre a tecnologia, a arte e o ambiente é Olafur Eliasson. O artista recorrentemente integra a natureza nos seus projetos e exemplo disso é o projeto "Yellow Trees" (2017), em que dois grupos de bétulas foram expostas no interior de um museu, criando-se um local de refúgio onde era possível estar em contacto com a natureza<sup>7</sup>. Do ponto de vista tecnológico, o projeto recorria a um anel de luz que iluminava por cima as folhas das bétulas e o espaço circundante; a luz emitida era de uma única frequência, o que fazia com que os visitantes vissem apenas "tonalidades de preto, cinzento e amarelo"<sup>8</sup>. O anel de luz servia simultaneamente para delimitar cada grupo de árvores.

Entre as bétulas desenhava-se um caminho por onde o público podia passar e era assim possível estar em contacto com elementos que apenas se espera encontrar no exterior, mas cuja deslocação para o interior de uma galeria proporcionava uma nova experiência visual e

---

<sup>7</sup> Fonte: <https://olafureliasson.net/archive/artwork/WEK110709/yellow-forest>. Acedido a 20 de março de 2021.

<sup>8</sup> Idem

sensitiva aos visitantes. Ainda que o público se possa ter sentido ligado à natureza, embora unicamente pela presença de árvores, não existia nada que o convidasse a interagir com as bétulas nem eram evidenciadas questões climáticas ou ambientais. Contudo, esta instalação demonstrou que não era preciso efetuar alterações em elementos naturais para que estes merecessem ter um lugar no museu.

Enquanto que, neste caso, a tecnologia se limitava à iluminação da instalação, já em “is a rose” (2019), uma instalação performativa de Charlotte Triebus, se empregava um ecrã LED, um sistema de *tracking* e um computador. Nesta instalação observavam-se nove pequenas plantas suspensas (figura 3) com as quais o utilizador podia interagir, e cujo movimento era detetado e registado pelo sistema<sup>9</sup>. À medida que os participantes tocavam ou sopravam nas plantas, alterando o seu estado, um objeto virtual projetado na parede refletia em tempo real a interação que teve lugar.

Este projeto explorava, sem dúvida, a relação do visitante com a natureza, mas encarava-a como uma forma para modificar um produto digital. Se o objetivo do visitante fosse provocar uma grande alteração do objeto digital, poderia mesmo chegar a danificar as plantas unicamente para conseguir esse fim.



Figura 3 - Instalação "is a rose",  
Charlotte Triebus, *I Engineer*,  
Spinnerei Leipzig, 2019.

## 2.6 Recriar a realidade

Tal como num ambiente natural, num lugar virtual que recria o natural existe a possibilidade do participante se sentir ligado à natureza. Como se afirma no artigo *Restoration in a virtual reality forest environment* (Mattila et al., 2020, p. 5), vários participantes relataram que sentiram efeitos restauradores num ambiente virtual similares àqueles que experienciaram numa floresta real. Para além disso, consideraram que o ambiente digital era mais cativante e apelativo visualmente.

---

<sup>9</sup> Fonte: <https://www.artland.com/artworks/charlotte-triebus-is-a-rose?show=contact-gallery>. Acedido a 29 de abril de 2021.

Os autores do artigo, que criaram em realidade virtual este espaço de caráter natural, não tinham como objetivo consciencializar o público para o estado atual do planeta, mas demonstraram que o envolvimento na natureza é uma mais-valia para a saúde mental e que os espaços virtuais podem ser parcialmente uma alternativa, embora momentânea, à realidade.

Mas como criar virtualmente um ambiente natural? Uma das formas possíveis é através da fotogrametria. Para tal, são efetuados vários registos fotográficos de um objeto que são processados através de um programa que junta diversas imagens através dos seus pontos comuns e efetua a renderização 3D dos objetos (Murphy & Morrison, 2014). Também é concebível proceder manualmente à modelação dos objetos tridimensionais. Na experiência descrita acima, optou-se pela segunda opção. (Ibid, p. 3).

## 2.7 Instalações em realidade virtual e mista

### 2.7.1 Personificação de elementos naturais

Um projeto atual que utiliza tecnologias de realidade virtual e, ao mesmo tempo, objetos externos para melhorar a experiência de imersividade num ambiente de caráter natural é o “Treehugger” (2016), do coletivo Marshmallow Laser Feast. Esta experiência, que torna possível a visualização virtual de sequoias gigantes, aborda a problemática da extinção destas árvores. Procura-se encorajar o público a considerar os desafios que o nosso planeta enfrenta e o impacto do ser humano no ambiente, nomeadamente em florestas<sup>10</sup>. Trata-se de uma instalação imersiva que contém uma narrativa, sendo experienciada através de um *headset* de realidade virtual. Este projeto combina realidade virtual com filmagens em 360° efetuadas por um drone, oferecendo ao público perspetivas pouco vulgares<sup>11</sup>. O conteúdo digital que se observa não tenta replicar de forma realista o natural, mas adota um estilo visual que relembra o pontilhismo e recorre a uma paleta de cores diversificada<sup>12</sup> (figura 4). Os participantes são convidados a espreitar pelo interior de uma coluna ‘física’ (figura 5) que tenta recriar o tronco de uma árvore, o que permite ao participante tocar no “tronco” e “sentir” a árvore, se bem que as texturas não correspondam totalmente às da casca de uma árvore.



Figura 5 - Instalação "Treehugger", Marshmallow Laser Feast, 2016.

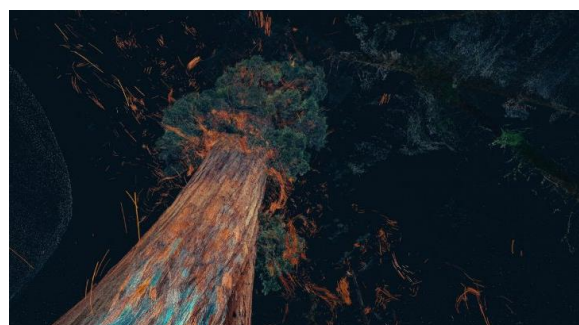


Figura 4 - Cenário digital de "Treehugger", Marshmallow Laser Feast.

<sup>10</sup> <https://www.dezeen.com/2019/09/08/odunpazari-modern-museum-vr-exhibition-marshmallow-laser-feast/>. Acedido a 17 de abril de 2021.

<sup>11</sup> <https://docubase.mit.edu/project/treehugger-wawona/>. Acedido a 17 de abril de 2021.

<sup>12</sup> <https://docubase.mit.edu/lab/interviews/interview-with-marshmallow-laser-feast/>. Acedido a 17 de abril de 2021.

Marshmallow Laser Feast pretende mostrar que a humanidade é completamente dependente da preservação dos seus ecossistemas, e dá a experimentar algo que daqui a vários anos poderá já não ser possível no meio natural. O trabalho, ao utilizar um tronco artificial, procura que o público se sinta ainda mais envolvido na instalação. Este trabalho do coletivo não é o único em que foi criada uma ligação entre realidade virtual e meio ambiente. Em “In The Eyes of The Animal” (2016), o utilizador assume o papel de um de três animais. Esta experiência é realizada em ambiente natural, numa floresta, embora não exista movimentação física dos participantes, uma vez estes se encontram sentados<sup>13</sup>. A componente táctil tem uma grande importância, e por isso o *headset* foi alterado de forma a incluir elementos naturais, como o musgo (figura 7). Assim, ao mesmo tempo que o participante visualiza um espaço natural alterado, pode sentir taticamente estes elementos. O som também é outra componente importante, uma vez que os sons usados no projeto foram gravados de forma binaural, ou seja, tentando reproduzir fidedignamente a forma como os humanos ouvem os sons (Paul, S. 2009, p. 768) e, portanto, simulando a perceção de direccionalidade e distância das fontes sonoras. Contribuindo para a sensação de imersividade que o projeto exige, os sons reproduzem o ambiente auditivo de uma floresta em Inglaterra e foram complementados com gravações de estúdio quando a captação do ruído de determinados elementos naturais não era possível, como o bater das asas de uma libelinha.<sup>14</sup>



Figura 7 - Experiência do projeto “In the Eyes of the Animal”, Marshmallow Laser Feast, 2016.

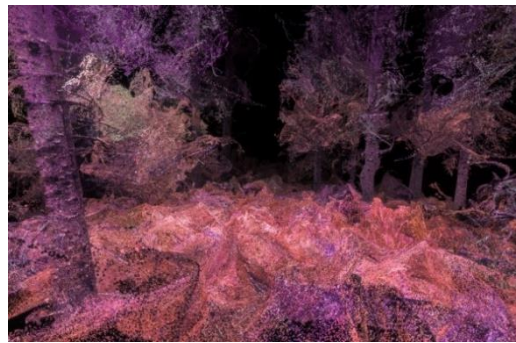


Figura 6 - Cenário digital de “In the Eyes of the Animal”, Marshmallow Laser Feast.

O projeto “RE-ANIMATED” (2018), uma instalação multimédia de Jakob Steensen, utiliza vídeo e realidade virtual para abordar as ligações entre preservação, extinção e imortalidade<sup>15</sup>. O projeto, segundo o autor, “é baseado no último pássaro Kaua’i ‘ō‘ō que morreu em 1987, marcando a extinção de toda a sua espécie”<sup>16</sup>. Para a realização desta obra, o artista recorreu a um vídeo do chamamento de acasalamento deste pássaro, gravado em 1975. Tal como o artista refere, “a instalação permite uma reanimação digital da ave e do seu canto, assim como a reconstrução digital do seu habitat, programado usando algoritmos”<sup>17</sup>, embora a componente artística também esteja muito presente no ambiente criado. As plantas e insetos animam-se em resposta à música gerada em tempo real<sup>18</sup>, fazendo uma ligação do áudio com os elementos

<sup>13</sup> Fonte: <http://intheeyesoftheanimal.com>. Acedido a 17 de abril de 2021.

<sup>14</sup> Fonte: <https://vimeo.com/213658777>. Acedido a 5 de setembro de 2021.

<sup>15</sup> Fonte: <http://www.jakobsteensen.com/re-animated>. Acedido a 11 de maio de 2021.

<sup>16</sup> Idem

<sup>17</sup> Idem

<sup>18</sup> Idem

visuais de inspiração natural. Por outro lado, o som que é captado pelo microfone do *headset* de realidade virtual tem consequências no ambiente digital, introduzindo mais um elemento de interatividade. A experiência é realizada num espaço fechado, mas o chão é revestido de elementos naturais (figura 8).

Com este projeto, o artista pretende que o público compreenda, através da combinação de arte e tecnologia, as consequências drásticas das ações que o ser humano pode provocar.



Figura 8 - Instalação “RE-ANIMATED”, Jakob Steense, Instalação em Realidade Virtual, Pylon Center, Dresden, Alemanha, 2018.



Figura 9 - Cenário digital de RE-ANIMATED, Jakob Steensen.

### 2.7.2 Destruição de um ambiente natural

A instalação e aplicação “Tree” (2017), desenvolvida por Milica Zec e Winslow Porter, conta a história de uma árvore numa floresta. Este projeto de realidade virtual permite a um utilizador “materializar-se” numa árvore, experienciando o seu nascimento e crescimento acelerado e, ultimamente, a sua morte, provocada por um incêndio que ocorre na floresta. Ainda que seja possível descarregar apenas a aplicação, na instalação é possível plantar uma semente real em terra, que marca simbolicamente o início da experiência virtual. Na instalação, existem vários elementos que ajudam à imersividade do utilizador (figura 10). São usadas ventoinhas para simular o vento e ainda coletes e mangas de vibração para transmitir feedback ao utilizador<sup>19</sup>. O conteúdo visual é bastante realista, dando literalidade à experiência. A instalação também apela ao sentido olfativo devido à presença de um odor que lembra o cheiro da terra.

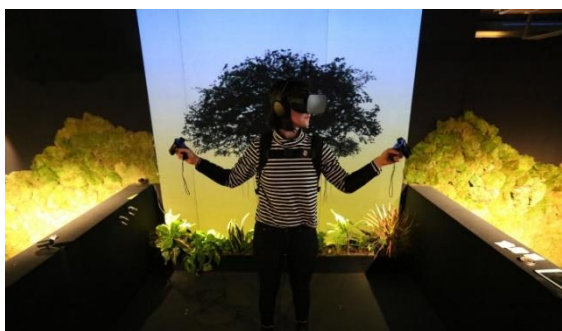


Figura 10 - Instalação “Tree”, Milica Zec e Winslow Porter, 2017.

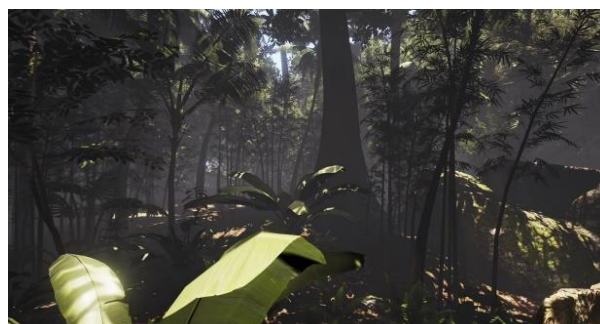


Figura 11 - Cenário digital de “Tree”, Milica Zec e Winslow Porter.

<sup>19</sup> Fonte: <https://www.media.mit.edu/projects/tree/overview/>. Acedido a 11 de maio de 2021.

Apesar de se tratar de um trabalho cujo enfoque é o ambiente e a sua destruição, o participante poderá sentir-se distanciado da causa do incêndio, uma vez que não tem conhecimento da sua origem, não assumindo por isso a responsabilidade deste acontecimento. O momento mais intenso da experiência ocorre quando o tronco começa a arder; no entanto, nesse momento, o utilizador é separado do tronco e visualiza o incêndio a partir do exterior, deixando de “ser” a árvore.

O projeto “Play with Fire”, de Mónica Mendes (2011), ainda que diferente do prévio, utiliza também a representação do fogo para simbolizar o desaparecimento de elementos naturais. Consiste na projeção de árvores numa parede, que são incendiadas por um fogo virtual. Este resultado é provocado pela movimentação do utilizador no campo de projeção<sup>20</sup>. Neste caso, o público assume o papel do fogo destruidor, sendo o causador da morte do meio natural. A relação de causa-efeito é imediata e óbvia. Sendo similar a um jogo, esta experiência mostra, no final, uma pontuação (Mendes, 2020, p.102) que representa os hectares de floresta que arderam por ação do jogador, e a quantidade de anos necessários para a regeneração da área ardida. Assim, o espetador tem uma noção imediata da dimensão do dano que causou e do tempo necessário para que o espaço volte à vida.

### 2.7.3 O real intocável

“Spring Odyssey” (2019), de Elise Morin, é um projeto que também tenta fundir real e virtual, sem dúvida com preocupações ambientais, mas focando-se nos efeitos que o desastre de Chernobyl teve na natureza circundante. O espaço afetado, a Floresta Vermelha, na Ucrânia, funciona atualmente como um laboratório para a compreensão dos efeitos da radiação nos seres vivos, e esses trabalhos de investigação informam o projeto. A autora tenta explorar virtualmente, com uma componente imaginativa, este espaço que está fisicamente interdito aos seres humanos.<sup>21</sup>

Como se verifica no vídeo de documentação do projeto<sup>22</sup>, o utilizador começa por tocar numa planta de tabaco que sofreu uma mutação e que está a ser estudada como bioindicador para áreas radioativas<sup>23</sup>. Esta mesma planta constitui um elo de ligação entre o real e o virtual, uma vez que é a sua manipulação, inicialmente física, mas depois unicamente virtual à medida que a planta digital se desenvolve, que estimula a expressão do ambiente virtual. Este projeto funciona quase como uma tentativa de não abandonar um espaço devastado pela ação humana, tentando compreender este novo ambiente. Aliás, a compreensão dos efeitos da radiação nos seres vivos é fundamental para a proteção dos seres humanos em viagens espaciais.<sup>24</sup>

Como diz a própria autora, “A experiência em realidade virtual da Floresta Vermelha é uma forma de ultrapassar uma fronteira que o corpo não consegue suportar naturalmente. É um ritual de passagem para uma nova realidade física que mistura mitos, ciência e tecnologia

---

<sup>20</sup> Fonte: <https://monicamendes.wordpress.com/play-with-fire/>. Acedido a 17 de março de 2021.

<sup>21</sup> Fonte: <http://elise-morin.com/SPRING-ODYSSEY-1>. Acedido a 6 de junho de 2021.

<sup>22</sup> Fonte: <https://vimeo.com/479863443>. Acedido a 8 de junho de 2021.

<sup>23</sup> Fonte: <http://elise-morin.com/SPRING-ODYSSEY-1>. Acedido a 6 de junho de 2021.

<sup>24</sup> Idem.

em torno de um poderoso fenômeno invisível e questiona os limites flutuantes das nossas intuições”.<sup>25</sup>

## 2.8 Criação de ligações

A fim de tentar explorar o espaço tridimensional à sua volta, Chiharu Shiota cria instalações imersivas, recorrentemente utilizando fios, sendo exemplo disso o trabalho “A walk through the line” (2017) (figura 12). A artista afirma que um fio “é uma analogia para sentimentos ou relações humanas”<sup>26</sup>. Usando fio vermelho ou preto, consegue “criar espaços ilimitados que lhe parecem estar em constante expansão”<sup>27</sup>, criando ligações entre diferentes entidades, com diferentes significados.

No âmbito do trabalho que se apresentará neste relatório, refira-se agora que também tem sentido utilizar o fio vermelho para criar uma ligação entre o ser humano e o meio ambiente, uma vez que os dois estão intrinsecamente ligados. A forma ideal de estabelecer estas ligações seria o meio natural, mas este conceito também é adaptável a uma realidade virtual.



Figura 12 - Instalação "A Walk Through The Line", Chiharu Shiota, Pafos2017 European Capital of Culture: Open Air Factory, 2017.

---

<sup>25</sup> Idem, ibidem.

<sup>26</sup> [https://www.eu-japanfest.org/column\\_en/a-walk-through-the-line/](https://www.eu-japanfest.org/column_en/a-walk-through-the-line/). Acedido a 19 de março de 2021.

<sup>27</sup> Idem.

## CAPÍTULO 3 – Uma experiência em Natureza fechada

### 3.1 Introdução

O projeto “Uma experiência em Natureza fechada” recria em realidade virtual um ambiente natural que é alterado pela interação do utilizador com elementos físicos e simultaneamente virtuais. O público é convidado a caminhar num espaço real – uma sala, onde estão presentes três árvores – enquanto que, através de um *headset*, se passeia num local virtual diferente, onde essas mesmas três árvores estão representadas digitalmente. Devido às várias animações presentes (borboletas, pirilampos, queda de folhas), o público é conduzido a tocar nessas árvores que existem nos ‘dois mundos’. No final da experiência, o participante verifica que as suas ações provocaram alterações significativas no mundo virtual, levando à degradação das plantas, e o percurso que realizou é evidenciado através de uma linha vermelha que atravessa o espaço.

A aplicação foi desenvolvida no motor de jogo Unity, sendo instalada no *headset* Oculus Quest 2. Um dos principais desafios do projeto foi a realização da sincronia entre os elementos físicos e virtuais, sendo outro a modelação dos elementos naturais e, finalmente, a transferência de elementos do programa de modelação Blender para o Unity.

As secções iniciais deste capítulo abordam a narrativa subjacente à instalação e os conteúdos que a fundamentam. Em seguida, aborda-se o desenvolvimento técnico, incluindo a modelação e animação dos elementos naturais, os procedimentos efetuados para criar um ambiente natural digital, a componente de interatividade, a implementação e sincronia dos elementos físicos e digitais e, finalmente, a otimização informática.

### 3.2 A narrativa

#### 3.2.1 The Red Thread of Fate

A linha vermelha tem uma importante função no trabalho que a seguir se apresentará. Antes de serem referidos os passos necessários para recriar uma linha vermelha num espaço virtual, é fundamental explicar a história por trás deste conceito.

*Red Thread of Fate* é uma lenda que se pensa ter origem na China, mas que no entanto também existe noutras culturas. O fio vermelho é um símbolo do destino e das relações entre humanos. No Japão, uma versão desta lenda consta no *Kojiki*<sup>28</sup>, o mais antigo livro sobre a história do Japão. Uma versão mais atual dita que “as relações humanas são predestinadas por um fio vermelho que os deuses atam ao dedo mindinho daqueles que se encontram ligados na vida”<sup>29</sup>. Este fio vermelho pode ficar emaranhado, mas é indestrutível. A lenda surgiu por se pensar que a artéria ulnar liga o coração ao dedo mindinho, estendendo-se para além do mundo visível de forma a terminar o seu curso no coração de outra pessoa, assim ligando dois seres.<sup>30</sup>

---

<sup>28</sup> Fonte: <http://kansai-odyssey.com/oh-gods-the-tales-of-omononushi/>. Acedido a 8 de junho de 2021.

<sup>29</sup> Fonte: <https://www.faena.com/aleph/the-legend-of-the-red-string-of-japan>. Acedido a 21 de abril de 2021.

<sup>30</sup> Idem.

O mito do fio vermelho refere-se a um itinerário de uniões com um enredo pré-determinada, onde as relações e as histórias que se partilham com outros não são acontecimentos aleatórios, mas parte de um conjunto de fios vermelhos que existem desde o nascimento de cada pessoa, e que vão sendo entrelaçados ao longo da vida<sup>31</sup>. Assim, esta lenda dita que há um caminho pré-definido: um fio vermelho que liga cada ser a um destino último. Este ponto de vista sobre a vida e as relações humanas deu origem a uma filosofia global, que afirma que a essência vital não está limitada às fronteiras do corpo físico e que o ser humano é uno com o Universo<sup>32</sup>. À medida que a vida avança, o fio vermelho vai ficando cada vez mais curto.

Se esta lenda se refere a ligações entre indivíduos, também pode ser aplicada à ligação intrínseca dos seres humanos com a natureza, e foi esta a noção que se decidiu adotar para este trabalho. Esta ligação pode parecer imprecisa e longínqua, mas na realidade é necessária, marcando o início da vida e o destino de todas as vidas.

### 3.2.2 Planeamento do percurso na experiência

Um dos objetivos do projeto foi criar uma narrativa que motivasse o utilizador a seguir um caminho pré-determinado. Ao recorrer a elementos naturais, como folhas a serem levadas pelo vento, borboletas e pirilampos, pretendeu-se criar um espaço suficientemente realista; como é típico das mecânicas de videojogos, também foram usados elementos geométricos.

Assim que é iniciada a experiência, o participante encontra à sua frente uma árvore que vai perdendo as suas folhas. Quando ocorre interação com esta árvore através da utilização das mãos (virtuais e físicas), as folhas mudam de cor para um tom alaranjado. Após cinco segundos, surge uma carreira de borboletas que circula à volta de uma segunda árvore. Quando ocorre interação com esta segunda árvore, as cores das folhas alteram-se para um tom avermelhado, o utilizador fica envolto em escuridão durante seis segundos, as borboletas desaparecem e o som dos pássaros é substituído por sons noturnos. Seguidamente, anoitece e surgem pirilampos nas redondezas, alguns dos quais rodeiam uma terceira árvore.

Após ocorrer interação com as três árvores, surge um círculo vermelho. Quando o utilizador entra em contacto com este objeto, o céu diurno regressa e o espaço fica silencioso. Se o utilizador se mantiver no perímetro do círculo e as três árvores estiverem no seu campo visual, estas começam a contorcer-se, perdendo as suas folhas, e surge uma linha vermelha que representa o caminho efetuado no espaço virtual.

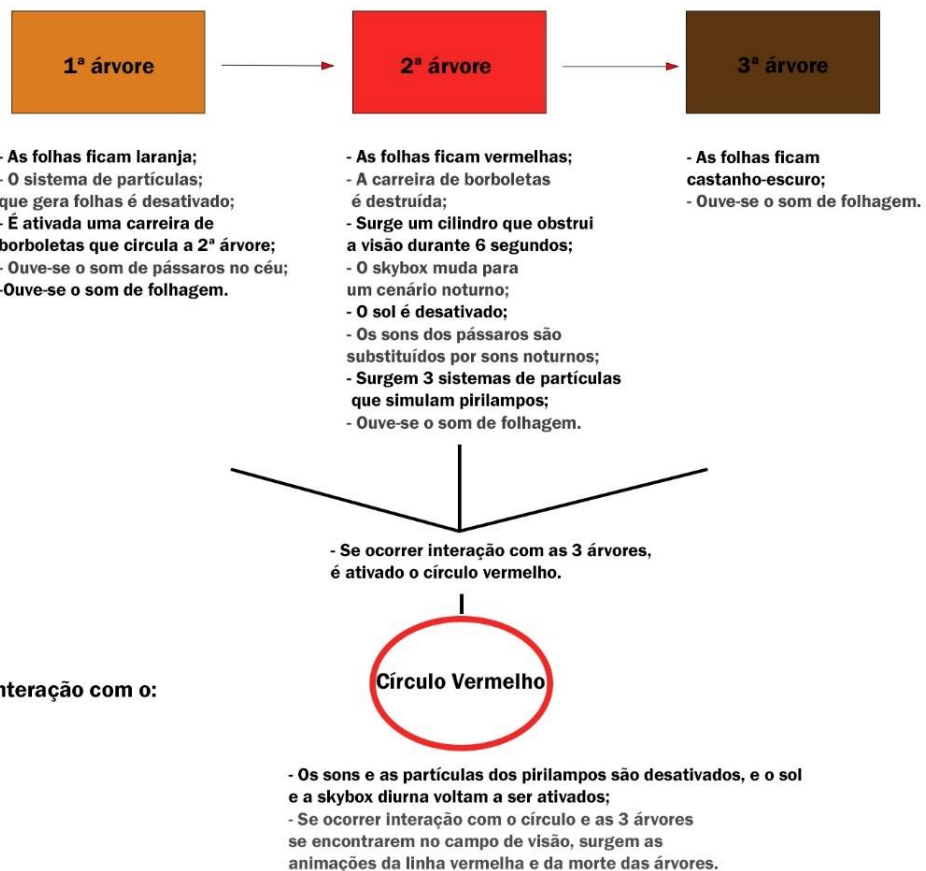
Ainda que o mero toque num elemento natural como uma árvore não provoque nenhum dano, a interação no projeto com as árvores reais e digitais é simbólica. O toque serve como metáfora para a intrusão negativa do ser humano nos espaços naturais que, ultimamente, causa a sua destruição.

---

<sup>31</sup> Há diversas fontes para esta lenda, mas foram consultados principalmente os três websites referenciados neste subcapítulo.

<sup>32</sup> Fonte: <https://brightside.me/wonder-curiousities/the-red-string-of-fate-a-beautiful-japanese-legend-140105/>. Acedido a 21 de abril de 2021.

Uma vez ocorrida interação com a:



Uma vez ocorrida interação com o:

**Círculo Vermelho**

- Os sons e as partículas dos pirilampos são desativados, e o sol e a skybox diurna voltam a ser ativados;
- Se ocorrer interação com o círculo e as 3 árvores se encontrarem no campo de visão, surgem as animações da linha vermelha e da morte das árvores.

Figura 13 - Diagrama do esquema de interação com as três árvores e o círculo.

### 3.3 Modelações e animações no Blender

Durante o planeamento do projeto, verificou-se que seria necessário criar modelos 3D no Blender devido à especificidade da modelação das três árvores, mas também para povoar o cenário de vida animal.

#### 3.3.1 Tentativa de modelação no Unity

O motor de jogo Unity possui uma ferramenta de geração de árvores, desde a criação do tronco e dos ramos até às folhas. Ainda que a ferramenta em si possibilite a criação de uma árvore tendo em atenção vários aspetos, como o tipo de tronco, a altura e a volumetria do objeto, após a criação de um *script*<sup>33</sup> que modifica de forma gradual o aspeto do objeto, a animação corre a um *framerate* de 0.2 *frames* por segundo, o que torna inviável a criação das árvores desta forma.

<sup>33</sup> Um ficheiro de código que permite controlar o comportamento de gameObjects.

### 3.3.2 Fotogrametria

Uma forma fidedigna de obter informação digital acerca da tridimensionalidade de cada árvore seria recorrer à fotogrametria, uma tecnologia que possibilita criar um modelo através de fotografias. Para tal, foram recolhidas 152 fotografias de várias perspetivas de uma das árvores, mas como a *Ficus benjamina* (figueira-benjamim), a planta utilizada na componente real do projeto, não é suficientemente densa de folhas e os seus ramos são finos, o processo de deteção dos vários pontos da árvore tornou-se inviável, uma vez que existiam demasiados espaços vazios. Por estes motivos, não foi possível obter um modelo digital fidedigno de nenhuma das árvores (figura 14).



Figura 14 - Screenshot de um resultado de uma fotogrametria.

### 3.3.3 Modelação das árvores no Blender

Após terem sido registadas as alturas e os pontos mais externos das árvores, foram colocadas essas medidas no programa de modelação Blender. Para modelar as árvores, utilizou-se o *add-on* (adicionado ao programa) “Sapling Tree Gen” do próprio Blender, que permite criar e alterar a forma de uma árvore ao modificar vários parâmetros, como a copa, a altura, a inclinação e o número de ramos, ao mesmo tempo que se cria uma árvore realista

### 3.3.4 Animação das árvores

Antes de animar cada árvore foi necessário criar no Blender uma *armature* (conjunto de ‘ossos’ – um ‘osso’ é um elemento base da animação) para alterar a rotação e localização da árvore de forma gradual (*rigging*). Cada osso foi adicionado manualmente, cobrindo a totalidade dos troncos e, apesar de cada osso não estar associado a cada ramo de forma individual, o número de ossos foi suficiente para abranger todos os ramos.

Para cada árvore foram criadas duas animações por *keyframes*<sup>34</sup> no Blender: a posição normal da árvore movida ligeiramente pelo vento (figura 15) e a morte gradual da árvore. As animações das árvores ao vento foram criadas ao movimentar os ramos mais exteriores das árvores no eixo do X, Y e Z. Os intervalos entre *keyframes* das animações variaram entre 15 e 60 *frames* para que as árvores não tivessem movimentos síncronos. De forma que estas animações ocorressem em *loop*, o primeiro e o último *keyframe* de cada animação possuíam os mesmos valores.

Por fim, para gerar a animação da morte de cada árvore, apenas se utilizaram dois *keyframes* por osso: o primeiro no início da animação para forçar o estado original da árvore e o último para definir o aspeto final da árvore quando morta. Este último estado é caracterizado por possuir o tronco curvado e os ramos contorcidos sobre o tronco e a acompanhar a posição final do mesmo (figura 16). Este efeito foi conseguido ao rodar o tronco e os diversos ramos para a posição final desejada.

Uma vez inseridos os modelos digitais das árvores no Unity, para que as animações fossem reproduzidas recorreu-se a componentes nativos do programa: o *Animator component* (atribui a animação ao objeto) e o *Animator Controller* (define qual o clip de animação a ser utilizado e as transições entre eles).



Figura 15 – Screenshot do estado inicial da primeira árvore no Unity.



Figura 16 – Screenshot do estado final da animação da morte da primeira árvore no Unity.

<sup>34</sup> Imagens ou fotogramas que definem estados da animação.

### 3.3.5 Modelação da fauna

Foram modelados mais dois elementos naturais no Blender: um pássaro e uma borboleta. O primeiro foi inserido no espaço com o objetivo de aumentar o realismo e o segundo foi usado como meio para guiar o utilizador no espaço.

O pássaro (figura 18) é o resultado da modelação de um cubo num modelo *lowpoly*<sup>35</sup>, assemelhando-se ao corpo de um pássaro. Após a modelação estar concluída, o modelo foi pintado no próprio Blender e finalmente atribuiu-se ao modelo uma *armature* que abrange o corpo, as asas e a cauda, de forma a se poder simular a animação do voo.

Para se modelar a borboleta (figura 17) foi criado um cilindro que serviu de corpo e dois planos modelados que representam a forma das asas, com base numa fotografia de uma borboleta retirada do website Textures<sup>36</sup>, fotografia esta que foi aplicada como textura ao modelo. Apesar do pássaro ter sido pintado manualmente, como a borboleta se ia encontrar espacialmente próxima do utilizador, optou-se por utilizar uma fotografia devido ao seu realismo. Tal como no modelo do pássaro, foi atribuído ao modelo da borboleta uma *armature* para posteriormente animar as asas através de *keyframes*.

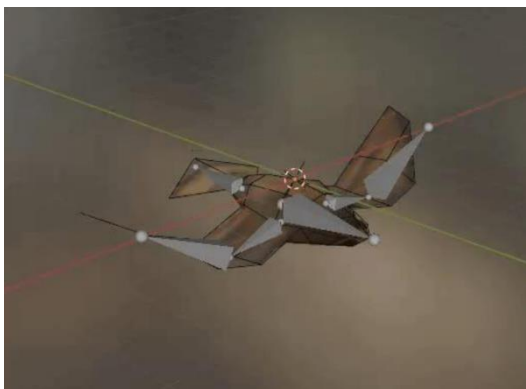


Figura 18 - Screenshot do modelo do pássaro no Blender.

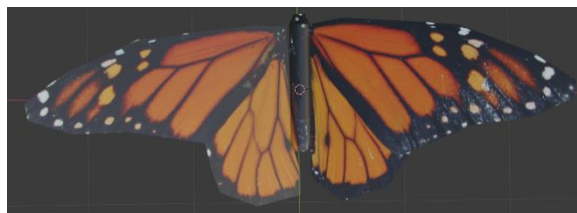


Figura 17 - Screenshot do modelo da borboleta no Blender.

Ainda que a funcionalidade anterior permita criar de forma automática as folhas e o seu posicionamento nos ramos, não existe muita escolha quanto aos tipos de folhagem e, uma vez exportadas as árvores para o Unity, as folhas transformam-se num só objeto, quando é necessário que sejam individualizadas. Logo, recorreu-se à criação de um sistema de partículas que assenta nos ramos através do *weight paint*, que determina em que zonas é que existe uma maior ou menor densidade de partículas.

Foi atribuído a cada sistema de partículas um *png* de um ramo com folhas, tendo cada árvore ramos e folhas diferentes, criando assim várias instâncias do mesmo objeto. A orientação de cada folha é aleatória, mas o ponto de ligação da imagem à árvore está situado, para cada instância da folha, no início do ramo. As imagens dos ramos foram retiradas da base

<sup>35</sup> Que possui poucos polígonos.

<sup>36</sup> Base de dados de imagens online: <https://www.textures.com/>. Acedido a 4 de abril de 2021.

de dados de imagens Shutterstock<sup>37</sup>. Seria necessário cortar ramos da *Ficus* para criar texturas específicas à própria árvore, que não era o que se pretendia; o que se queria era apenas simular.

### 3.4 Recriação da realidade no Unity

#### 3.4.1 Assets

Para o desenvolvimento do projeto foi necessário utilizar conteúdo não nativo do Unity por uma questão de conveniência e devido à falta de elementos necessários. A seguinte tabela apresenta os *assets*<sup>38</sup> presentes no projeto, à parte dos *assets* já incluídos pelo próprio Unity, e de que forma são empregues:

Asset	Utilização
Universal RP	Um Pipeline feito pelo Unity que prioriza a performance sobre os gráficos.
XR Plugin Management	Fornece a gestão de plug-ins de <i>extended reality</i> .
Grass And Flowers Pack 1	Contém as texturas das flores e da relva.
Oculus Integration	Inclui o suporte para o desenvolvimento de aplicações em realidade virtual para dispositivos da Oculus.
Rock and Boulders 2	Inclui os modelos das rochas colocadas no terreno.
AllSky Free – 10 Sky / Skybox Set	Inclui as duas <i>skyboxes</i> utilizadas no projeto.
Terrain Tolls Sample Asset Pack	Adiciona pincéis e carimbos às ferramentas de desenvolvimento do terreno.
Bézier Path Creator	Permite criar caminhos de uma forma simplificada.
Conifers [BOTD]	Inclui os modelos das árvores colocadas em redor da experiência central.
Terrain Tools	Permite aplicar as texturas com facilidade ao terreno criado no World Machine.
Standard Assets (for Unity 2018.4)	Inclui materiais e texturas usados no projeto.

Figura 19 - Os *assets* utilizados no projeto e as suas funções.

<sup>37</sup> Base de dados de imagens online: <https://www.shutterstock.com/pt/home>. Acedido a 9 de julho de 2021.

<sup>38</sup> Representação de qualquer item que pode ser usado no Unity.

### 3.4.2 Visualizar em realidade virtual

Tratando-se de um projeto em realidade virtual, não é possível utilizar a câmara predefinida que o Unity providencia. O *asset* Oculus Integration da Oculus retirada da Unity *asset store*<sup>39</sup> fornece todos os meios necessários para o desenvolvimento de aplicações feitas em Unity para dispositivos da Oculus. Este *asset* contém o *gameObject*<sup>40</sup> *OVR Camera Rig* que possibilita a visualização da aplicação no Oculus Quest, e o *gameObject* *OVR Hands*, que, através de câmaras infravermelhas no *headset*, lê a posição das mãos do utilizador e viabiliza a ocorrência de colisões no espaço virtual.

### 3.4.3 O terreno

A aplicação foi construída sobre o Universal Rendering Pipeline, um *prebuilt Scriptable Render Pipeline*, que prioriza a performance para o desenvolvimento de aplicações em realidade virtual.

O terreno serve como base do projeto, visto que é o elemento no qual os modelos criados foram inseridos, para além de permitir ao utilizador circular no espaço. Ainda que fosse possível criar e modelar o terreno no Unity, isto só seria possível alterando o *heightmap* (a altura) do terreno de forma manual através de um pincel. Dito isto, como se pretendia criar um terreno montanhoso, eram exigidas várias transformações relativas às diferentes alturas do terreno. Estas alterações efetuadas com um pincel não se mostraram suficientemente realistas (figura 5), e por isso recorreu-se a um outro programa de nome World Machine.

O World Machine permite gerar um terreno (figura 21) à base de *nodes* (figura 20). Cada *node* fornece uma informação ao modelo e altera-o de acordo com as suas propriedades. Foi escolhida a opção de criar uma montanha nas proximidades dos limites do terreno, enquanto foram formadas pequenas cadeias montanhosas nas proximidades. Isto permitiu que se criasse uma zona longe da montanha onde se visualizassem estas elevações, mas ao mesmo tempo ter uma base plana onde se podia circular sem elevações.

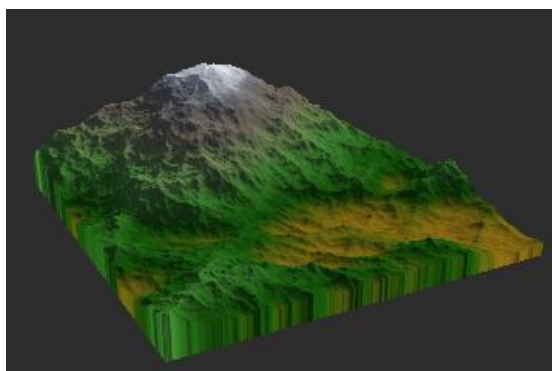


Figura 21 - Terreno gerado no World Machine.

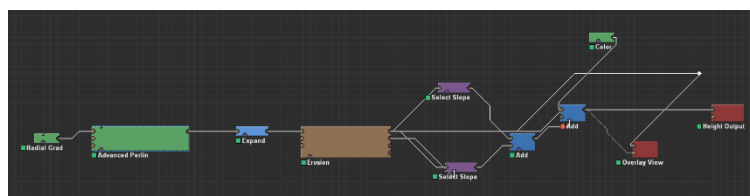


Figura 20- Nodes utilizados para gerar o terreno no World Machine.

<sup>39</sup> <https://assetstore.unity.com/>

<sup>40</sup> Qualquer objeto na hierarquia do Unity.

Uma vez escolhido o local onde o utilizador iria aparecer, utilizou-se a ferramenta de pincel do Unity para criar pequenas elevações em redor do espaço com o intuito de limitar o campo de visão, impedindo a visualização de áreas extensas que não se encontravam povoadas de elementos naturais. Este mesmo efeito foi também conseguido com a criação de nevoeiro.

Após a modelação estar concluída, retiraram-se texturas e os respetivos *normal maps*<sup>41</sup>, quando existentes, do website Textures e foram aplicados ao terreno. No local onde ocorria movimentação e nas suas redondezas existia uma mistura de relva, terra e musgo (figura 22) de diferentes opacidades para apresentar um aspeto mais natural e criar um padrão não repetitivo. As montanhas à distância não apresentavam nenhuma textura por questões de performance e também porque as texturas não seriam claramente visíveis por causa do nevoeiro presente na cena.



Figura 22 - Screenshot da mistura de texturas do terreno.

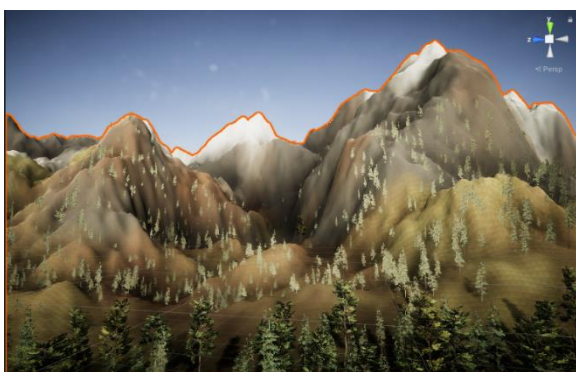


Figura 23 - 1.ª fase do desenvolvimento do cenário no Unity.



Figura 24 - Fase final do cenário, encoberto pelo nevoeiro, no Unity.

---

<sup>41</sup> Tipos de textura que permitem adicionar detalhes do relevo.

### 3.4.4 Povoamento do espaço

Preencheu-se parte do terreno visível mas não alcançável pelo utilizador com árvores, relva, flores (através das ferramentas do terreno “paint trees” e “paint details”, ou seja, são criadas instâncias) e rochas. Uma vez que estes elementos eram apenas adornos para que o espaço se aproximasse de um cenário natural, recorreu-se aos *assets* acima mencionados (figura 19), visto que estes elementos não eram um ponto fulcral do trabalho, nem eram elementos com os quais o utilizador interagia. Para que estas árvores, relva e flores não ficassem estáticas, foi adicionado um *gameObject* com a componente “Wind Zone” para simular o vento.

Para completar o espaço envolvente, utilizou-se um *asset* que inclui várias *skyboxes*, ou seja, materiais que são o resultado de uma imagem 360° usada para revestir o céu. Como existia um momento onde ocorria uma mudança no céu que iniciava a transição para a noite, foi usado uma *skybox* de um céu diurno e outra de um céu noturno.

#### a) Os pássaros

Um dos elementos que está presente desde o começo da experiência é um bando de pássaros que sobrevoa o espaço (figura 25). Recorrendo ao modelo previamente modelado, foram-lhe atribuídos dois scripts que controlavam o seu aparecimento, movimento e desaparecimento: o “Bird Spawner” e o “Bird Controller”. Ao *prefab*<sup>42</sup> com o modelo foi aplicado o script “Bird Controller”, que controla o movimento das instâncias dos pássaros no projeto e destrói cada instância 70 segundos depois da sua criação. O script “Bird Spawner” foi atribuído a um objeto vazio<sup>43</sup> para determinar o local onde os modelos têm origem no espaço. A função *Start()* (figura 26) dita que novas instâncias de pássaros podem surgir durante 5 a 10 segundos e só passados 15 a 20 segundos é que novas instâncias podem surgir novamente. As linhas 18-43 são responsáveis por controlar os intervalos de tempo do surgimento de cada instância. Por fim, as linhas 45-55 definem que, se as condições assim o permitirem, o modelo é instanciado aleatoriamente no eixo do X, Y e Z, dentro dos valores estabelecidos.

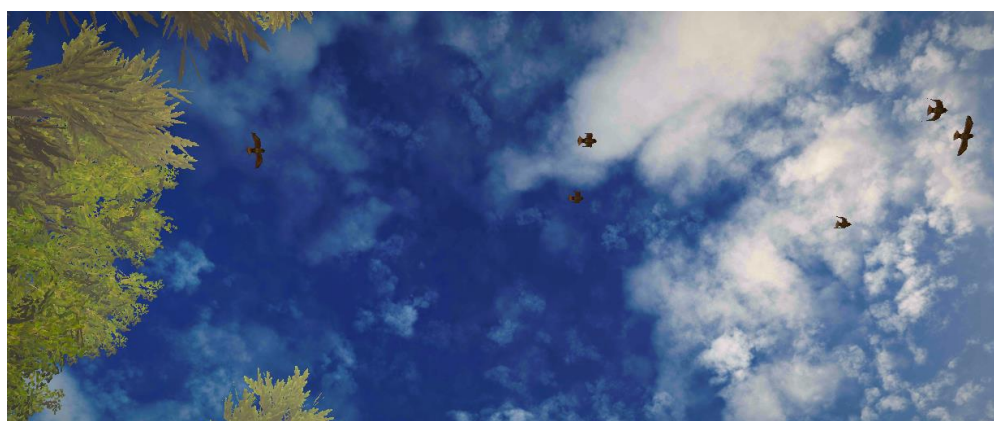


Figura 25 - Screenshot do voo dos pássaros acima do espaço da experiência.

<sup>42</sup> Objeto pré-feito.

<sup>43</sup> Um objeto vazio é um objeto que não possui qualquer componente para além do *Transform*.

```

18 void Start()
19 {
20     canSpawn = Random.Range(5f, 10f);
21     cooldown = Random.Range(15f, 20f);
22 }
23
24 // Update is called once per frame
25 void Update()
26 {
27
28     if (canSpawn > 0)
29     {
30         canSpawn -= Time.deltaTime;
31     }
32     else
33     {
34         cooldown -= Time.deltaTime;
35
36         if (cooldown <= 0)
37         {
38             canSpawn = Random.Range(5f, 10f);
39             cooldown = Random.Range(10f, 20f);
40             nextActionTime = Time.time;
41         }
42     }
43
44     if (Time.time > nextActionTime && canSpawn > 0)
45     {
46         {
47             nextActionTime += period;
48             float spawnX = Random.Range(transform.position.x - xSpawnInterval, transform.position.x
+ xSpawnInterval);
49             float spawnY = Random.Range(transform.position.y - xSpawnInterval, transform.position.y
+ xSpawnInterval);
50             float spawnZ = Random.Range(transform.position.z - xSpawnInterval, transform.position.z
+ xSpawnInterval);
51             newBird = Instantiate(bird, new Vector3(spawnX, spawnY, spawnZ), Quaternion.Euler(new
Vector3(180, 0, 0))) as GameObject;
52             newBird.GetComponent<BirdController1>().speed = -Random.Range(speedMin, speedMax);
53         }
54     }
55 }

```

Figura 26 - Código do script "Bird Spawner" (cria instâncias dos pássaros).

### 3.4.5 Componente Sonora

Todas as faixas sonoras utilizadas no projeto foram retiradas de dois websites, epidemic sound<sup>44</sup> e orangefreesounds<sup>45</sup>, uma vez que estas gravações garantiam a qualidade e variedade dos sons naturais necessários.

No projeto existiam dois sons estáticos localizados no topo de duas árvores, um à esquerda e o outro à direita da posição inicial. Cada uma destas fontes sonoras reproduzia sons de diferentes pássaros, contribuindo para uma maior imersão no ambiente digital. Uma vez ocorrida interação com a primeira árvore era ativada uma fonte sonora que reproduzia o som de pássaros, simulando os que estavam em voo, com informação direcional. Iniciando-se a interação com a segunda árvore, este som desaparecia, uma vez que os pássaros saíam de cena. Também se ouvia o som ocasional de um grilo que circulava por entre as três árvores, num

<sup>44</sup> Base de dados de sons online: <https://www.epidemicsound.com/>. Acedido a 18 de maio de 2021.

<sup>45</sup> Base de dados de sons online: <https://orangefreesounds.com/>. Acedido a 25 de julho de 2021.

movimento em *loop* (figura 27). Como o utilizador só ouvia o som do grilo se se encontrasse nas proximidades da fonte sonora, isso podia motivá-lo a investigar esse espaço.

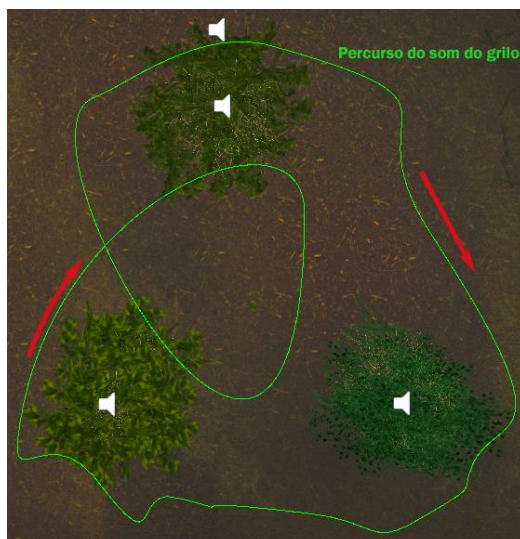


Figura 27 - Trilho à volta das árvores do som do grilo.

Após o contacto com a segunda árvore se realizar, as duas primeiras fontes sonoras mencionadas ficavam inativas e eram ativadas duas novas fontes sonoras próximas do chão, também estas fora do alcance do utilizador. Estas fontes repetiam o som de grilos, mas também de alguns pássaros, aludindo a um cenário noturno.

Para contribuir para a sensação de movimento no espaço foi adicionado o som abafado de um passo sobre folhas secas, retirado do epidemic sound. O gameObject “steps” possui um script<sup>46</sup> com o mesmo nome (figura 28) que controla a reprodução deste som e encontra-se inserido na hierarquia do OVRCameraRig. A cada *frame*, o script regista a posição atual do utilizador e compara-a com a sua posição na *frame* anterior. Caso a distância entre essas duas posições seja superior a um dado valor de tolerância (para evitar que movimentos muito pequenos façam com que o som seja reproduzido), o som é ativado. Finalmente, refira-se que existia um som de folhagem que era audível quando o utilizador tocava em cada uma das árvores.

---

<sup>46</sup> Um script é um ficheiro de código que permite controlar o comportamento de gameObjects.

```

1 public class steps : MonoBehaviour
2 {
3     public AudioSource audioSource;
4     Vector3 posatual, posanterior;
5     private float tolerance = 0.04f;
6
7     void Start()
8     {
9         posanterior = transform.transform.position;
10    }
11
12    void Update()
13    {
14        posatual = transform.transform.position;
15
16        if (Vector3.Distance(posatual, posanterior) > tolerance &&
17            !audioSource.isPlaying)
18        {
19            audioSource.Play();
20        }
21        posanterior = posatual;
22    }

```

Figura 28 - Código do script "steps", responsável pela reprodução do som que simula os passos.

No projeto, todos estes sons são tratados como uma fonte tridimensional, ou seja, é possível localizar no espaço a sua fonte; para que sejam reproduzidos no headset de realidade virtual, é-lhes adicionado um script da Oculus, o *ONSP Audio Source*.

### 3.5 Elementos de interação

Enquanto que os elementos referidos anteriormente foram trabalhados no Blender e no World Machine, foi no Unity que foram inseridos os modelos e o projeto foi desenvolvido.

O espaço digital podia ser experienciado utilizando as faculdades visuais e auditivas, ao mesmo tempo que o utilizador caminhava sincronamente pelo espaço virtual e físico. Contudo, para poder explorar a experiência da forma que foi planeada, era exigido ao utilizador que tocasse nas árvores digitais e, na medida do possível, nas físicas.

### 3.5.1 A interação com as árvores digitais

Para que a interação entre as árvores e o utilizador fosse detetada, recorreu-se aos motores de física (*Physics Engine*) nativos do Unity. Um dos componentes presente nestes motores é o *Capsule Collider*, que define a forma de um *gameObject* com o intento de registar colisões. Todas as árvores possuem um *Capsule Collider*, editado para ficar com as mesmas dimensões de cada *gameObject*. Desta forma, como a única maneira do utilizador interagir com o espaço era através das mãos, quando uma das mãos entrava em colisão com uma das árvores eram ativadas ações específicas.

As três árvores possuem scripts quase idênticos quando têm funções em comum, como é o exemplo da reprodução de um som de folhagem quando existe interação por parte do utilizador. Estes scripts dedicados à reprodução destes sons procuram o som correspondente no cenário e, se for detetada uma colisão no *gameObject* em questão, reproduzem o som. Quando deixar de existir interação, o som deixa de ser reproduzido.

As três árvores ainda têm mais dois scripts em comum, um responsável pela deteção de colisão e o outro pela reprodução da animação da morte. O script “TreeCollisionDetection” controla as ações quando ocorre uma colisão. Neste caso, informa um outro script se o utilizador interagiu com uma dita árvore. O script “KillTreeAnimation” reproduz a animação consoante o nível de interação que o utilizador efetuou. O cálculo do tempo de interação por parte do utilizador é efetuado num outro script de nome “AtivarAnim”.

No script “AtivarAnim”, as linhas 14-15 (figura 29) encarregam-se de escalar os valores entre 0 e 1, utilizando MinMax Scaling, para saber a percentagem de animação que vai ser reproduzida. Os valores são escalados utilizando a seguinte fórmula:

$$X_{sc} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Como o MinMax Scaling escala o valor mínimo para 0 (algo indesejado porque é sempre pretendido que alguma parte da animação seja mostrada), nas linhas 17-23 é encontrado o índice do valor mínimo (0) e descobre-se qual o valor médio para posteriormente, na linha 25, ser apresentado o valor médio a dividir por 2, para devolver um valor maior que 0. Assim, a árvore que apresentar um maior nível de interação reproduz a animação da morte na sua totalidade. Nas linhas 27-33 é despoletada a animação da morte das árvores, sendo fornecida a percentagem da animação a ser reproduzida. Por fim, nas linhas 35-37, é acionado o *fade out* das folhas. Apesar dos scripts acima mencionados estarem atribuídos aos *gameObjects* das árvores, cada ramo, *child*<sup>47</sup> da árvore correspondente, possui um script dedicado a alterar a cor das folhas.

---

<sup>47</sup> Um *gameObject* inserido num outro *gameObject* na hierarquia do Unity.

```

1 void KillTrees()
2 {
3     if (!areTreesKilled)
4     {
5         float[] animTimes = new float[3];
6
7         animTimes[0] = interactionTimeTree1;
8         animTimes[1] = interactionTimeTree2;
9         animTimes[2] = interactionTimeTree3;
10
11         float min = Mathf.Min(animTimes);
12         float max = Mathf.Max(animTimes);
13
14         for (int i = 0; i < 3; i++)
15             animTimes[i] = (animTimes[i] - min) / (max - min);
16
17         float midVal = 0;
18         int minIdx = 0;
19         for (int i = 0; i < 3; i++)
20             if (animTimes[i] != 0 && animTimes[i] != 1)
21                 midVal = animTimes[i];
22             else if (animTimes[i] == 0)
23                 minIdx = i;
24
25         animTimes[minIdx] = midVal / 2;
26
27         arvore1.GetComponent<KillTreeAnimation>().isDying = true;
28         arvore2.GetComponent<KillTreeAnimation>().isDying = true;
29         arvore3.GetComponent<KillTreeAnimation>().isDying = true;
30
31         arvore1.GetComponent<KillTreeAnimation>().animationPercentage = animTimes[0];
32         arvore2.GetComponent<KillTreeAnimation>().animationPercentage = animTimes[1];
33         arvore3.GetComponent<KillTreeAnimation>().animationPercentage = animTimes[2];
34
35         Leaves.fadeOut = true;
36         Leaves1.fadeOut = true;
37         Leaves2.fadeOut = true;
38     }
39 }
40
41 areTreesKilled = true;
42 }

```

Figura 29 - Código relativo à função KillTrees do script AtivarAnim, responsável por calcular o nível da animação (percentagem da animação que é mostrada).

### a) A primeira árvore

Da forma que esta experiência foi planeada, o objetivo era que o utilizador interagisse inicialmente com a árvore que se encontrava no centro, à sua frente (figura 9). Apesar de existir um plano sobre o percurso que cada pessoa deveria efetuar, não era necessário que o primeiro contacto fosse com este *gameObject*, uma vez que o resultado final era independente da ordem de interação. Uma forma de motivar o utilizador a dirigir-se a esta árvore específica, para além da sua localização espacial, foi adicionar um sistema de partículas que produzia imagens de uma folha, ou seja, aparentava que a árvore estava a perder as suas folhas. Uma vez detetada uma colisão, o sistema de partículas era desativado.

À medida que o utilizador ia explorando a árvore, como anteriormente mencionado, cada ramo que tocava ia alterando a sua cor, sinalizando que a interação estava a ter uma consequência imediata na sua composição. Este *gameObject* possui um *script* que ativa elementos na cena em tempo real. Para além de existir um som que sinaliza a existência de pássaros a sobrevoarem a cena, passados cinco segundos após ocorrer interação com a árvore, o *gameObject* de nome “butterfly spawner” é ativado, adicionando um caminho constante de borboletas ao projeto.

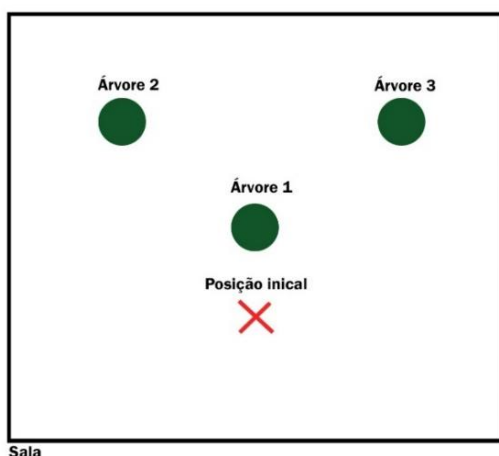


Figura 30 - Diagrama da Instalação.

Esse trilho foi criado recorrendo ao *asset Path Creator*, iniciando-se fora do campo de visão do utilizador, circulando a segunda árvore e desaparecendo também num local não visível (figura 31). Cada instância de borboleta tem uma cor aleatória para adicionar maior diversidade visual à cena. A partir do momento em que surge, o *gameObject* é eliminado ao fim de 30 segundos para reduzir custos computacionais. Optou-se por criar e implementar este elemento específico para adicionar vida animal à floresta e permitir ao utilizador investigar um *gameObject* alcançável, motivando-o a dirigir-se a outra árvore.



Figura 31 - Trilho efetuado pelas borboletas.

#### b) A segunda árvore

Quando ocorria a primeira interação com a segunda árvore, o utilizador ficava envolto em escuridão. Isto conseguiu-se através de um cilindro invertido (ou seja, é possível ver o seu interior) criado no Blender, posicionado no local da câmara e cobrindo a cabeça do utilizador.

Para que este aparecimento deste *gameObject* não seja imediato, é-lhe atribuído uma animação que aumenta a sua escala. A esta forma foi atribuído um material preto que, ao fim de seis segundos, diminui de escala e é destruído. Esta escuridão momentânea pode não ser absoluta (algumas folhas da árvore podem ser visíveis, dependendo da proximidade do utilizador), mas tem o propósito de limitar a capacidade visual e assim realçar o que é tátil e audível. Durante esses seis segundos em que o utilizador é incapaz de perceber o que está a acontecer ao seu redor, também ocorrem alterações no espaço envolvente. A *skybox* que previamente apresentava um céu claro é trocada por um céu noturno, ao mesmo tempo que o sol é desativado, e o espaço envolvente reflete essa mudança: os sons dos pássaros que se ouviam nas árvores são substituídos por sons noturnos, desta vez localizados no chão, e os pássaros que sobrevoavam a cena são desativados. Surgem três sistemas de partículas que produzem pontos amarelos que navegam no espaço, com o intuito de replicar pirilampos. Dois dos sistemas encontram-se em locais inalcançáveis, apenas para adicionar conteúdo ao fundo, e o último situa-se na terceira árvore, como forma de motivação para o utilizador se dirigir à mesma. Ainda que não contribua para a mudança noturna, a carreira das borboletas é desativada para não distrair o utilizador do próximo objetivo, que é interagir com a terceira e última árvore.

Tal como aconteceu na primeira árvore, ao interagir com as folhas estas mudam de cor, desta vez para um tom avermelhado, reforçando através de uma cor ainda mais forte a ideia do impacto que o utilizador está a ter sobre a árvore.

### c) A terceira árvore

Dos três modelos, a terceira árvore é a que oferece menor interatividade, visto que não existem novos elementos naturais associados diretamente com esta colisão. Mas, tal como acontece com as outras árvores, as folhas mudam de cor após existir interação com o utilizador. No entanto, desta vez as folhas ficam com um tom castanho-escuro para simbolizar que a morte da árvore está iminente. O único elemento novo que aparece na cena é um círculo vermelho, modelado no Blender, que surge apenas porque nesse ponto já ocorreu interação com as três árvores. Esse círculo, aliás, não surgiria se existisse apenas interação com a terceira árvore.

### 3.5.2 Implementação do fio vermelho

Para o desenvolvimento do projeto existiu a necessidade de representar a ligação invisível que o ser humano tem com a natureza. Como se disse, esta ligação está associada à lenda *Red Thread of Fate* e, por isso, foi criado um rastro virtual que representa o fio vermelho que simboliza a ideia de ligação do ser humano com a natureza.

O círculo que aparece após a interação com todas as árvores possui, no Unity, um material de corda vermelha para aludir ao elemento que brevemente surgirá. Após o utilizador entrar em colisão com o círculo, os sons de fundo são desativados, deixando o utilizador no silêncio. Se o visitante ainda se encontrar em contacto com o círculo e se no seu campo de visão estiverem presentes as três árvores, surge uma linha vermelha que representa o caminho efetuado pelo utilizador.

Este efeito foi criado com o *Trail Renderer*, um componente próprio do Unity que cria um rastro de um *gameObject* quando é movimentado no espaço (figura 32). Contudo, os parâmetros disponíveis no próprio componente não permitem mostrar o rastro de forma gradual. Dito isto, temos um objeto vazio de nome “Record Position”, filho da câmara principal na hierarquia, cujo propósito é registar sequencialmente a sua posição. Estas posições serão utilizadas posteriormente para fazer o *Trail Renderer* percorrer o caminho e desenhar a linha vermelha. A espessura da linha oscila ao longo do tempo para se assimilar mais a um fio e ajudar a criar irregularidade no desenho.

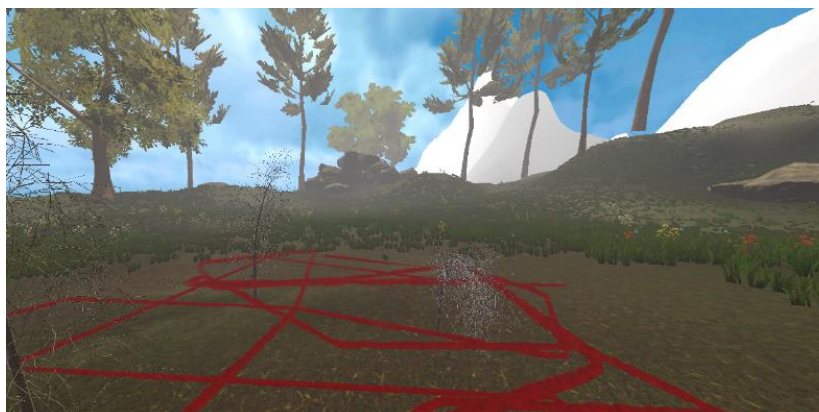


Figura 32 - Screenshot da renderização de um percurso (a linha vermelha).

Na função Update() da class “FollowTrail” (figura 33) são guardadas as posições do gameObject “Record Position” utilizando uma Queue<sup>48</sup> (fila). Uma vez que as condições sejam obedecidas (interação com o círculo e as três árvores estarem no campo de visão) a função StartFollowing() é chamada. A função Follow() controla a lógica de remover “posições” da queue e faz com que o Trail Renderer se mova em direção às mesmas.

```
void Update()
{
    // Periodically record positions for posterior rendering
    if (Time.time > nextActionTime)
    {
        nextActionTime += period;
        trailPositions.Enqueue(trail.transform.position);
    }

    if (follow)
        Follow();
}

public void StartFollowing()
{
    follow = true;
    targetPosition = trailPositions.Dequeue();
    transform.position = targetPosition;
}

void Follow()
{
    // Move and rotate object toward position
    transform.forward = Vector3.RotateTowards(transform.forward, targetPosition -
transform.position, speed * Time.deltaTime, 4.0f);
    transform.position = Vector3.MoveTowards(transform.position, targetPosition,
speed * Time.deltaTime);

    // If we reached an intermediate position, move to the next one
    if (transform.position == targetPosition)
    {
        if (trailPositions.Count != 0) {
            targetPosition = trailPositions.Dequeue();
        }
        else
            follow = false;
    }
}
```

Figura 33 - Código do script “FollowTrail”, responsável pela renderização da linha vermelha.

---

<sup>48</sup> Uma Queue é uma estrutura de dados linear que segue uma ordem particular na qual as operações são executadas. A ordem é First In First Out (FIFO). Basicamente, quanto mais recente um elemento for dentro da queue, mais tardia será a sua remoção, pois cada vez que se remove um elemento de uma queue, estamos a remover o elemento mais antigo.

### 3.6 - A implementação

A instalação foi montada numa sala da ESMAD durante duas tardes. Apesar da sincronização básica das árvores virtuais com as reais ter sido feita rapidamente, foi necessário mais tempo para a aperfeiçoar. Uma vez concluído este trabalho, a instalação foi testada durante três dias em agosto com 16 pessoas. Todos os problemas relatados abaixo foram resolvidos antes de dar início às experiências com utilizadores.

#### 3.6.1 A escolha das árvores

De forma a contribuir para uma maior imersividade do projeto foram utilizadas árvores reais que serviram de modelo para as suas recriações digitais. Uma vez que iam ser colocadas num espaço fechado, precisavam de possuir certas características: não podiam ter uma altura superior a três metros devido à altura do teto, mas tinham de ter pelo menos dois metros de altura para existir uma superfície significativa de contacto. A folha tinha de ser agradável ao toque e persistente, não devendo a árvore perder muitas folhas ao longo do tempo, e resistentes a uma permanência prolongada no interior (que incluía o período em que foram modeladas). Após procurar árvores com estas características, optou-se pela espécie *Ficus benjamina* por cumprir todos estes critérios, mas tendo como único ponto negativo o facto de não se tratar de uma árvore simétrica repleta de folhas, o que dificultou a criação de um modelo digital fidedigno do real.

#### 3.6.2 Sincronização do real com o virtual

Este projeto vive da junção da vertente física com a digital, sendo um dos objetivos principais a sincronização entre estes dois mundos. O primeiro passo deste processo foi desenvolver a aplicação no Unity para o *Oculus Quest 2* e, apesar de ainda se necessitar de fazer ajustes ao posicionamento geográfico de elementos, o passo seguinte foi dar início à montagem física da instalação.

A montagem foi feita num espaço da Escola Superior de Media Artes e Design (ESMAD), com espaço suficiente para a colocação das três árvores e permitir uma circulação segura (figuras 34 e 35). Uma vez decididos os locais definitivos de cada árvore, realizaram-se vários testes para verificar se as árvores virtuais coincidiam com as reais. No Unity moveram-se os modelos das três árvores para ficarem a distâncias similares às das árvores reais, acabando por ser necessário, no final, movimentar as árvores reais apenas alguns centímetros. Contudo, devido à forma irregular de cada *Ficus* e ao movimento dos ramos das árvores digitais, não foi possível realizar uma sincronização absolutamente satisfatória (figuras 36 e 37).



Figura 35 - Posicionamento das árvores no espaço da instalação.

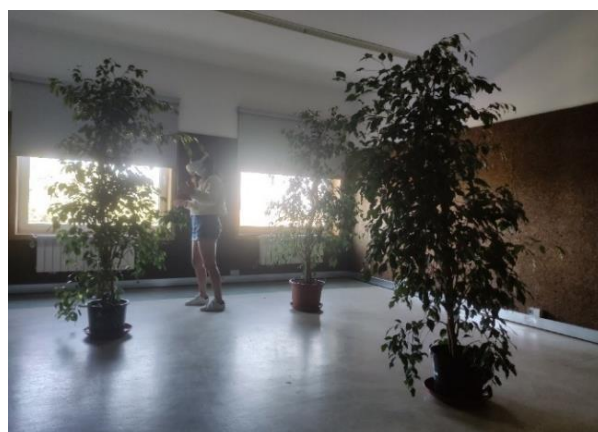


Figura 34 - Movimentação física de um dos participantes.



Figura 37 - Interação física com a terceira árvore.



Figura 36 - A mesma interação com a terceira árvore, mas no ambiente virtual.

Durante a fase de planejamento do projeto, pretendia-se que os participantes que viessem experimentar a aplicação não vissem a sala nem as árvores de antemão, para não retirar o elemento de surpresa e para não existir uma ideia definida do espaço físico onde o utilizador se movimentaria, o que por sua vez poderia contribuir para uma maior imersão no espaço virtual. Porém, este cenário não se mostrou prático por vários motivos: o local onde a experiência começava não era perto da entrada da sala, logo o participante ainda teria de se deslocar até um certo ponto, tendo a vista bloqueada devido ao *headset* de realidade virtual; devido ao formato da sala, não era realista cobrir totalmente o local onde as três árvores se encontravam antes da experiência começar. Para além disto, sempre que se realizava uma experiência era preciso redefinir o *guardian*<sup>49</sup> e iniciar a aplicação para depois, num ponto específico no espaço,

<sup>49</sup> O *guardian* é uma tecnologia desenvolvida pela Oculus. Serve para definir a área de jogo num *headset* de realidade virtual no momento em que o dispositivo é ligado.

colocar o *headset* no participante. Se este procedimento não fosse seguido de forma absolutamente precisa, a área de jogo era alterada. Tentando compreender o que causava este comportamento, foi levantada a hipótese de isto se dever ao facto de o dispositivo perder a calibração entre o virtual e o físico quando entrava em modo de bloqueio, uma vez retirado o *headset*.

Como mecanismo adicional para garantir a sincronia, adicionou-se ao programa o reconhecimento de um gesto que reposicionava a pessoa no espaço virtual. No entanto, descobriu-se que os sistemas de tracking do Oculus previnem eventos de relocalização porque quando se tentava reposicionar o utilizador surgia nos *logs*<sup>50</sup> do dispositivo a mensagem “Recenter event detected”. Para contornar esse contratempo, forçou-se o evento de relocalização a ter parte no fim do frame correspondente, ou seja, quando todo o processamento de dados por parte da biblioteca da Oculus tivesse ocorrido e estivesse à espera do próximo *frame*. A linha 28 (figura 38), utilizando a biblioteca da Oculus, verifica se o utilizador está a tocar com o dedo mindinho no polegar. A seguir, na linha 29, obtém a “força” desse gesto (o quão juntos os dedos estão) e, na linha 30, é obtida a “confiança” nos resultados devolvidos (se o sistema não tiver a certeza no gesto, a confiança será baixa). Estes valores são utilizados na linha 32 para detetar se o utilizador evocou o evento de relocalização com o gesto da Figura 39. Por fim, a função da linha 40 encarrega-se de relocalizar o utilizador.

```
25     void Update()
26     {
27         if (noMore){
28             isPinkyFingerPinching =
hand.GetFingerIsPinching(OVRHand.HandFinger.Pinky);
29             pinkyFingerPinchStrength =
hand.GetFingerPinchStrength(OVRHand.HandFinger.Pinky);
30             confidence = hand.GetFingerConfidence(OVRHand.HandFinger.Pinky);
31
32             if (isPinkyFingerPinching && pinkyFingerPinchStrength >= 0.8f &&
confidence == OVRHand.TrackingConfidence.High)
33             {
34                 StartCoroutine(Recenter());
36                 noMore = false;
37             }
38         }
39     }
40     IEnumerator Recenter()
41     {
42         yield return new WaitForEndOfFrame();
43         Vector3 difference = new Vector3(position.x -
centerCamera.transform.position.x, position.y - centerCamera.transform.position.y,
position.z - centerCamera.transform.position.z);
44         ovrCameraRig.transform.position += difference;
45     }
46 }
```

Figura 38 - Código do script “HandPinchSelect”, encarregado de relocalizar o utilizador no início da experiência

---

<sup>50</sup> Os *logs* obtidos utilizando a ferramenta de linha de comandos Logcat, que permite observar o registo de mensagens do sistema, mensagens estas lançadas quando ocorre um erro ou quando uma aplicação considera pertinente (por exemplo, para efeitos de *debugging*).



Figura 39 - Gestos usado no início da experiência para relocalizar a posição do utilizador.

### 3.7 – Aspetos técnicos

#### 3.7.1 - Hardware

Como já se referiu, a aplicação foi desenvolvida no motor de jogo Unity, sendo instalada no *headset* Oculus Quest 2, com um sistema operativo baseado em Android. Este headset permite experienciar realidade virtual sem um computador externo, o que possibilita uma maior liberdade de movimento. Tem também a capacidade de *hand tracking*, ou seja, possui câmaras que permitem ler as posições das mãos do utilizador. Utiliza o Qualcomm Snapdragon XR2 com 6GB de RAM e alcança um *refresh rate*<sup>51</sup> de 90 hz<sup>52</sup>.

Os dispositivos de realidade virtual existentes no mercado podem ser tão básicos como um smartphone inserido num headset compatível, mas apresentam uma baixa resolução gráfica e a experiência que proporcionam não é certamente a mesma de um headset de realidade virtual dedicado, como o Oculus Quest 2, que foi o dispositivo utilizado no projeto “Uma experiência em Natureza fechada”. Atualmente, na sua categoria, este *headset* é um dos dispositivos de mais baixo preço. Outro hardware, como o VIVE Pro 2 da HTC<sup>53</sup>, é uma opção com uma performance e um hardware superiores, mas com um preço significativamente mais elevado. Além disso, exige uma ligação a um computador externo, embora acoplado com o VIVE Wireless Adapter<sup>54</sup> possa ser utilizado sem cabo.

Embora, no projeto, se tenha optado por instalar a aplicação diretamente no Oculus Quest 2, também seria possível fazer streaming através da tecnologia Air Link<sup>55</sup> para o Oculus Quest 2 a partir de um computador capaz de correr uma aplicação de realidade virtual. Mas esta solução implicava a presença de um computador no espaço da instalação e uma conexão *wi-fi* estável. Outra opção seria realizar esta experiência com um cabo que ligasse o headset a um computador, o que possibilitaria uma melhor performance da aplicação, mas seria

---

<sup>51</sup> Taxa de refrescamento da imagem num ecrã, expressa em imagens por segundo.

<sup>52</sup> Especificações do Oculus Quest 2: <https://www.vrfocus.com/2020/09/all-the-specifications-for-oculus-quest-2/>. Acedido a 28 de setembro de 2021.

<sup>53</sup> Headset de realidade virtual da HTC, lançado em 2021: <https://www.vive.com/us/product/vive-pro2/overview/>. Acedido a 28 de setembro de 2021

<sup>54</sup> Fonte: <https://www.vive.com/us/accessory/wireless-adapter/>. Acedido a 28 de setembro de 2021.

<sup>55</sup> Tecnologia de streaming da Oculus para o Oculus Quest 2 através de *wi-fi*. <https://www.vrfocus.com/2020/09/all-the-specifications-for-oculus-quest-2/>. Acedido a 28 de setembro de 2021.

necessário prender um cabo de fibra ótica ou de cobre em vários locais do teto para proporcionar liberdade de movimento ao utilizador. Finalmente, ainda existiria a possibilidade de se utilizar uma mochila com um computador portátil de elevado desempenho, ligado ao *headset* através de um cabo.

### 3.7.2. Otimização

Ainda que o plano inicial fosse criar um espaço virtual realista, o facto do projeto ser desenvolvido para uma plataforma *standalone* como o Oculus Quest 2 não tornou possível criar gráficos suficientemente detalhados e ao mesmo tempo ter uma boa performance. Logo, foi necessário efetuar várias mudanças no projeto para melhorar o nível da performance, mas em detrimento do lado visual.

Como o terreno é um elemento que tem altos custos computacionais, não foram aplicadas texturas nas montanhas mais distantes, uma vez que estas dificilmente seriam visíveis devido ao nevoeiro, e foram apagadas partes do terreno não observáveis. Às árvores que envolviam o espaço também lhes foram atribuídos níveis de detalhe (LOD) mais baixos, ou seja, tornaram-se objetos menos exigentes do ponto de vista da performance. Apesar disto, algumas instâncias de árvores do terreno não estavam a ser renderizadas corretamente, o que levou à remoção de várias dessas instâncias. Para complementar os espaços que, assim, ficariam demasiado vazios, foram adicionados os mesmos modelos de árvores, mas como *gameObjects*.

Por fim, atribuiu-se nas configurações gráficas do projeto a opção “UniversalRP – LowQuality”, aquela que exigia os requerimentos computacionais mais baixos e controla a renderização global e as definições de qualidade do projeto<sup>56</sup>.

---

<sup>56</sup> Fonte: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.render-pipelines.universal@7.1/manual/configuring-universalrp-for-use.html>. Acedido a 15 de julho de 2021.

## CAPÍTULO 4 – VALIDAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Durante três dias em agosto, 16 pessoas entre os 20 e os 63 anos experimentaram a instalação e preencheram um questionário relativo à experiência (figuras 52 e 53). Como estes testes só foram realizados num período não-letivo, não existia circulação suficiente na ESMAD para realizar testes com alunos. Por esse motivo, os participantes foram conseguidos através de relações pessoais.

37,5% dos participantes já tinham experienciado realidade virtual; contudo, destes, só 33,3% é que tinham experimentado realidade virtual recorrendo a objetos tangíveis. Quanto à ligação entre realidade física e virtual, 31,3% dos participantes acharam totalmente natural caminhar nesse espaço, 50% acharam parcialmente natural, 12,5% sentiram-se igualmente divididos relativamente a esse aspeto e 6,3% acharam pouco natural esse passeio.

Por causa de questões já referidas anteriormente, os participantes viram previamente que na sala existiam árvores. Por isso, achou-se relevante perguntar se ver as árvores de antemão afetou a imersividade. 18,8% acharam que não afetou de todo a imersividade da experiência, 37,5% acharam que a imersividade foi afetada parcialmente, 37,5% ficaram divididos relativamente ao impacto e 6,3% acharam que foi afetada de forma mais marcante. 87,5% dos intervenientes acharam que o facto de existirem árvores reais ajudou à imersão total na experiência, enquanto apenas 6,3% acharam que isso ajudou parcialmente e 6,3% manifestaram ambivalência a este respeito.

Outro aspeto relativamente ao qual os visitantes foram inquiridos foi a qualidade da ligação entre o real e virtual, ou seja, se estas realidades estariam sincronizadas. 68,8% referiram que a ligação foi muito bem executada e 31,3% acharam que foi parcialmente bem executada. Quanto ao aspeto visual e sonoro do espaço, 56,3% acharam completamente credível a sua similitude com um espaço natural real e 43,8% acharam-na apenas credível.

Um dos objetivos pretendidos era provocar surpresa nos participantes com aquilo que as suas ações provocaram na natureza. 56,3% ficaram totalmente surpreendidos, 31,3% acharam parcialmente surpreendentes as suas ações e 12,5% manifestaram ambivalência a este respeito. Quando se perguntou aos visitantes se sentiam que a experiência refletia a relação destrutiva do ser humano com a natureza, 43,8% concordaram completamente, 37,5% concordaram parcialmente, 12,5% foram ambivalentes e 6,3% discordaram parcialmente, mas não totalmente. Estes resultados podem ser explicados por duas principais razões: os participantes poderão não se ter apercebido de que as suas ações foram a causa da destruição da floresta digital, mas também poder ter existido a convicção prévia de que o ser humano não tem uma relação destrutiva com a natureza, não admitindo estes participantes a relação de causa-efeito que se pretendia demonstrar com este projeto.

Para descobrir se os participantes compreenderam um dos aspetos da experiência, foi-lhes perguntado o que acharam que a linha vermelha representava. 25% responderam que simbolizava a ligação que o ser humano tem com a natureza, 31,25% estabeleceram a ligação entre a linha vermelha e a destruição das árvores, respondendo que simbolizava a ação destrutiva do homem face à natureza, 37,5% apresentaram a resposta que, *a priori*, seria a mais

esperada, escrevendo que se tratava do percurso efetuado, e 6,25% inseriram-se simultaneamente nestas duas últimas categorias.

No geral, os 16 participantes gostaram desta experiência de realidade virtual simultânea com a interação com árvores reais. Como se achou imprescindível que os participantes percebessem o que tinham experienciado, no final de cada visita e após a resposta ao inquérito, foi explicado o que se pretendia com o projeto, nomeadamente a história e o significado da linha vermelha no contexto do trabalho.

#### 4.1 Observações finais

A experiência de todos os participantes foi monitorizada, não só a parte digital, através de *streaming* do *Oculus Quest 2* para um PC, com o intuito de ver se ocorria algum erro com a aplicação e para orientar o participante caso fosse necessário, o que só ocorreu episodicamente, mas também o lado físico da experiência, por questões de segurança. Esta monitorização permitiu uma análise paralela do que ocorreu durante as experiências, possibilitando a observação de padrões. No último dia, foram efetuadas gravações do *streaming* e também da movimentação real.

Mesmo sabendo que se encontravam árvores reais no espaço, e estando o participante na área de movimentação permitida, houve, contudo, pessoas hesitantes em entrar em contacto com essas plantas. Manifestavam surpresa quando tocavam nas árvores e estas mudavam de cor. Infelizmente, nomeadamente na primeira árvore, que se encontrava ligeiramente curvada, a interação dos participantes criava pequenos desvios na sincronização (a árvore real mantinha a sua volumetria enquanto que a árvore digital morta ocupava um menor espaço), o que reduziu o realismo da ligação entre o virtual e real.

Após a interação com a segunda árvore, quando surgia o cilindro que limitava a visão, todos os participantes pareciam ficar desorientados, como se tivesse ocorrido um erro na aplicação. Contudo, rapidamente se apercebiam que a mudança ocorrida no espaço envolvente fazia parte da narrativa e prosseguiam com a experiência. Quando o círculo vermelho surgia, os participantes interrogavam-se sobre o seu significado e dirigiam-se para este novo elemento. Apesar de todos os sons terem desaparecido, houve quem achasse que não aconteceria mais nada, acabando por sair daquele local e voltando a explorar a sala. Quando isto sucedia e os participantes não regressavam para investigar o círculo, era-lhes comunicado verbalmente que essa era uma ação necessária para concluir a experiência.

Uma vez concluídos os segmentos de animação da morte das árvores, e à medida que iam explorando este espaço agora modificado, perguntavam habitualmente como poderiam fazer voltar as árvores ao seu estado original ou se a narrativa permitia essa possibilidade.

Finalmente, note-se que nem todos os participantes seguiram o caminho na sequência planeada e, quando um participante interagiu primeiro com a segunda árvore, a animação das borboletas nunca era ativada, uma vez que o toque faz com que o *spawn* das borboletas seja destruído.

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

Este projeto foi um projeto de introdução ao desenvolvimento de realidade virtual, permitindo à autora a exploração do motor de jogo Unity. Foi também a primeira vez que ensaiou a modelação 3D. Apesar de não ser a primeira vez em que trabalhou com o Unity, nunca antes tinha lidado com os desafios da criação de um projeto em realidade virtual destinado a ser instalado num dispositivo *mobile*. Foi também a primeira vez que inseriu elementos originais, por si criados, no Unity.

Ao aliar o mundo físico com o digital, é possível criar experiências que adicionam uma nova camada de realismo ao ambiente imersivo. Porém, admite-se que esta forma possa não ser utilizada em experiências de realidade virtual (nomeadamente de carácter comercial) que se realizem em ambientes que não sejam previamente preparados. Afinal, tratando-se de uma instalação, está dependente do local onde é realizada.

Com base nos resultados dos questionários obtidos, foi possível concluir que a concretização de um cenário virtual imersivo que decalcava um ambiente natural, simultaneamente criando uma ligação ao mundo tangível através de elementos reais, proporcionou uma experiência que permitia uma maior conjugação com a natureza. Ainda que nem todos os visitantes tenham concordado que a experiência refletisse a relação destrutiva que o ser humano tem com a natureza, a análise das respostas sobre o significado da linha vermelha permite-nos concluir que os participantes estabeleceram as ligações pretendidas por este projeto: a essência do envolvimento do ser humano com a natureza e as consequências do impacto negativo que a ação antrópica tem sobre os espaços verdes.

Os temas ambientais, que constituem um particular interesse da autora, são algo que gostará de continuar a explorar no campo artístico, associando-o à componente tecnológica. No caso deste trabalho, optou-se por complementar a realidade virtual com outra dimensão: a do mundo físico. Sendo verdade que a realidade virtual se destaca pelo seu carácter imersivo, caminhos alternativos poderão ser futuramente seguidos para a exploração do meio natural como objeto artístico.

O projeto pode ser melhorado na vertente física e digital. A sincronização entre virtual e real poderá ser realizada de uma forma mais perfeita selecionando uma planta mais simétrica e de copa mais cheia, talvez um arbusto, da qual seja possível realizar uma fotogrametria, ou que permita tirar medidas com uma maior exatidão. Fazer *streaming* da aplicação de um computador para o *headset* através de uma conexão *wi-fi* estável, em vez de a instalar diretamente no *headset*, possibilitará gráficos mais exigentes a nível computacional e a inserção de mais elementos, permitindo uma experiência mais realista e uma narrativa mais complexa, que também teria de ser desenvolvida. Por outro lado, a aquisição de *assets* pagos possibilitaria a utilização de elementos mais realistas e variados, tendo neste projeto só sido utilizados *assets* gratuitos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A Walk Through the Line*. (2000). EU - Japan Fest Japan Committee.  
[https://www.eu-japanfest.org/column\\_en/a-walk-through-the-line/](https://www.eu-japanfest.org/column_en/a-walk-through-the-line/). Acedido a 19 de março de 2021.
- Adams, D. (1992). Joseph Beuys: Pioneer of a radical ecology. *Art Journal*, 51(2), 26-34
- Beardsley, J. (2006). *Earthworks and beyond* (4a ed.). Cross River Press.
- Benthall, J. (1969). The cybernetic sculpture of Tsai Wen-ying. *Studio International. Journal of Modern Art*, 177(909 Book Supplement.), 126-129.
- Bishop, C. (2005). *Installation art*. London: Tate.
- Blandy, D., Congdon, K. G., & Krug, D. H. (1998). Art, Ecological Restoration, and Art Education. *Studies in Art Education*, 39(3), 230-243. <https://doi.org/10.2307/1320366>
- Candy, L. (2006). Practice based research: A guide. CCS report, 1(2).
- Collins, T. (2012). Art, Imagination and Environment.  
[https://www.researchgate.net/publication/259980638\\_Art\\_Imagination\\_and\\_Environment](https://www.researchgate.net/publication/259980638_Art_Imagination_and_Environment)
- Demos, T. J. (1969). *The politics of sustainability: art and ecology. Radical nature: art and architecture for a changing planet*, 2009, 17-30.
- Denes, A. (1993). Notes on Eco-Logic: Environmental Artwork, Visual Philosophy and Global Perspective. *Leonardo*, 26(5), 387-395. <https://doi.org/10.2307/1576033>
- Dixon, S. (2006). *A history of virtual reality in performance*. International Journal of Performance Arts & Digital Media, 2(1).
- Eliasson, O. (2017). *Yellow forest*, 2017.  
<https://olafureliasson.net/archive/artwork/WEK110709/yellow-forest>. Acedido a 20 de março de 2021.
- Feast, M. L. *ITEOTA Behind The Scenes Part 3: 'SOUND IN 360'*. Vimeo.  
<https://vimeo.com/213658777>. Acedido a 5 de setembro de 2021.
- Global Forest Resource Assessment 2020*. (2020).  
[Www.Fao.Org.http://www.fao.org/forestresources-assessment/2020/en/](http://www.fao.org/forestresources-assessment/2020/en/)
- Hitti, N. (00-05-25). *Marshmallow Laser Feast's VR exhibition sends "important environmental message."* Dezeen.

<https://www.dezeen.com/2019/09/08/odunpazari-modern-museum-vr-exhibition-marshmellow-laser-feast/>. Acedido a 17 de Abril de 2021.

*Interview with Marshmallow Laser Feast. MIT - Docubase.*  
<https://docubase.mit.edu/lab/interviews/interview-with-marshmellow-laser-feast/>.  
Acedido a 17 de abril de 2021.

Kastner J, Wallis B. 1998. *Land and Environmental Art*. London: Phaidon

*King County Earthworks: Land Reclamation as Sculpture*. (2013). King County.  
<https://kingcounty.gov/depts/records-licensing/archives/exhibits/earthworks.aspx#TheArtistsDesign>. Acedido a 2 de setembro de 2021.

MA Art & Ecology. Goldsmiths, University of London.  
<https://www.gold.ac.uk/pg/ma-art-ecology/>. Acedido a 13 de julho de 2021.

*Marshmallow Laser Feast. In the Eyes of the Animal*. (2016). In *The Eyes Of The Animal*.  
<http://intheeyesoftheanimal.com>. Acedido a 17 de Abril de 2021.

Matless, D., & Revill, G. (1995). A solo ECOLOGY: The ERRATIC art of Andy Goldsworthy. *Ecumene*, 2(4), 423–448. <https://doi.org/10.1177/147447409500200404>

Mattila, O., Korhonen, A., Pöyry, E., Hauru, K., Holopainen, J., & Parvinen, P. (2020). *Restoration in a virtual reality forest environment*. *Computers in Human Behavior*, 107, 106295.  
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106295>

Mendes, M. (2012). *ARTiVIS Arts, real-time video and interactivity for sustainability*.

Mendes, M. (2012) *Play with Fire*. ARTiVIS Research.  
<https://monicamendes.wordpress.com/play-with-fire/>. Acedido a 17 de março de 2021.

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). *A taxonomy of mixed reality visual displays*. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.

Morin, E. (16 de novembro de 2020). *SPRING ODYSSEY - VR PROTOTYPE 2020 CHRONIQUES BIENNALE*.  
<https://vimeo.com/479863443>. Acedido a 8 de junho de 2021.

Morin, E. *SPRING ODYSSEY*.  
<http://elise-morin.com/SPRING-ODYSSEY-1>. Acedido a 6 de junho de 2021.

Murphy, B. L., & Morrison, R. D. (2014). *Introduction to Environmental Forensics* (3rd ed.). Academic Press.

Nam June Paik. Artnet.  
<http://www.artnet.com/artists/nam-june-paik/>. Acedido a 25 de março de 2021.  
*Oh Gods! The Tales of Omononushi*. (25 Julho de 2017). Kansai Odyssey.

- <http://kansai-odyssey.com/oh-gods-the-tales-of-omononushi/>. Acedido a 8 de junho de 2021.
- Paul, C. (2015). *Digital Art (World of Art)* (Third edition). Thames & Hudson.
- Paul, S. (2009). Binaural Recording Technology: A Historical Review and Possible Future Developments. *Acta Acustica United with Acustica*, 95(5), 767–788.  
<https://doi.org/10.3813/aaa.918208>
- Queue Data Structure.  
<https://www.geeksforgeeks.org/queue-data-structure/>. Acedido a 30 de agosto de 2021.
- Raschka, S. MinMax Scaling.  
[http://rasbt.github.io/mlxtend/user\\_guide/preprocessing/minmax\\_scaling/](http://rasbt.github.io/mlxtend/user_guide/preprocessing/minmax_scaling/). Acedido a 30 de agosto de 2021.
- Ruhrberg, K., Schneckenburger, M., Fricke, C., & Honnef, K. (2012). *Arte do século XX: Pintura, Escultura, Novos Media, Fotografia*. Taschen.
- Shiota, C. (2017). A Walk through the Line, 2017.  
<https://www.chiharu-shiota.com/a-walk-through-the-line-1>. Acedido a 19 de março de 2021.
- Steensen, J. K. (2019) RE-ANIMATED, 2019  
<http://www.jakobsteensen.com/re-animated>. Acedido a 11 de maio de 2021.
- Sutherland, I. E. (1965). The Ultimate Display. *Proceedings of the Congress of the International Federation of Information Processing (IFIP)* (p./pp. 506-508).
- Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three dimensional display. *AFIPS '68 (Fall, part I)*.
- teamLab (2017). *Forest of Flowers and People: Lost, Immersed and Reborn*, 2017. teamLab.  
<https://www.teamlab.art/w/flowerforest/>. Acedido a 20 de março de 2021.
- The Legend of the Red String of Japan. Faena.  
<https://www.faena.com/aleph/the-legend-of-the-red-string-of-japan>. Acedido a 21 de abril de 2021.
- The Red String of Fate: A beautiful Japanese legend. Bright Side.  
<https://brightside.me/wonder-curiosities/the-red-string-of-fate-a-beautiful-japanese-legend-140105/>. Acedido a 21 de abril de 2021.
- Thornes, J. E. (2008). *A Rough Guide to Environmental Art*. Annual Review of Environment and Resources, 33(1), 391–411. <https://doi.org/10.1146/annurev.enviro.31.042605.134920>
- Tree (2017). Tree Official.  
<https://www.treeofficial.com/>. Acedido a 11 de maio de 2021.

Tree. MIT Media Lab.

<https://www.media.mit.edu/projects/tree/overview/>. Acedido a 11 de maio de 2021.

*Treehugger: Wawona*. (2016). MIT - Docubase.

<https://docubase.mit.edu/project/treehugger-wawona/>. Acedido a 17 de Abril de 2021.

Triebus, C. (2019). *is a rose*, 2019. Artland.

<https://www.artland.com/artworks/charlotte-triebus-is-a-rose?show=contact-gallery>.  
Acedido a 29 de abril de 2021.

## ANEXOS

### I – Screenshots



*Figura 40 - Interação com a primeira árvore, no Oculus.*



*Figura 41 - Screenshot de uma instância da borboleta, no Oculus.*



*Figura 42 - Interação com a terceira árvore, no Oculus.*



*Figura 43 - A degradação de duas árvores e uma renderização da linha vermelha.*



*Figura 44 - Screenshot do espaço virtual, no Unity.*



*Figura 45 - Screenshot das três árvores, da perspetiva do utilizador, no Unity.*

## II - Fotografias



*Figura 46 - A primeira árvore e a marca no chão que indica o local onde a experiência é iniciada.*



*Figura 47 - Registo fotográfico de uma das experiências.*

### III - Código

```
1 public class BirdSpawner : MonoBehaviour
2 {
3     public GameObject bird;
4     private float nextActionTime = 0.0f;
5     public float period = 0.1f;
6
7     private GameObject newBird;
8     public float speedMax;
9     public float speedMin;
10
11     public float canSpawn;
12     public float cooldown;
13
14     public float xSpawnInterval;
15     public float ySpawnInterval;
16     public float zSpawnInterval;
17     // Start is called before the first frame update
18     void Start()
19     {
20         canSpawn = Random.Range(5f, 10f);
21         cooldown = Random.Range(15f, 20f);
22     }
23
24     // Update is called once per frame
25     void Update()
26     {
27
28         if (canSpawn > 0)
29         {
30             canSpawn -= Time.deltaTime;
31         }
32         else
33         {
34             cooldown -= Time.deltaTime;
35
36             if (cooldown <= 0)
37             {
38                 canSpawn = Random.Range(5f, 10f);
39                 cooldown = Random.Range(10f, 20f);
40                 nextActionTime = Time.time;
41             }
42
43         }
44
45         if (Time.time > nextActionTime && canSpawn > 0)
46         {
47             nextActionTime += period;
48             float spawnX = Random.Range(transform.position.x - xSpawnInterval, transform.position.x
+ xSpawnInterval);
49             float spawnY = Random.Range(transform.position.y - xSpawnInterval, transform.position.y
+ xSpawnInterval);
50             float spawnZ = Random.Range(transform.position.z - xSpawnInterval, transform.position.z
+ xSpawnInterval);
51             newBird = Instantiate(bird, new Vector3(spawnX, spawnY, spawnZ), Quaternion.Euler(new
Vector3(180, 0, 0))) as GameObject;
52             newBird.GetComponent<BirdController1>().speed = -Random.Range(speedMin, speedMax);
53         }
54     }
55 }
```

Figura 48 - Código completo do script "Bird Spawner" (cria instâncias dos pássaros).

```

public class DarkMode : MonoBehaviour
{
    public GameObject dark;
    public Material dia;
    public Material noite;
    public GameObject sun;
    public GameObject birds;
    public GameObject fireflies;
    public GameObject butterfliesSpawner;

    public GameObject cricketSound1;
    public GameObject cricketSound2;

    public GameObject birdsSound1;
    public GameObject birdsSound2;

    private bool neverDone;

    public GameObject firefliesBackground;
    public GameObject firefliesBackground2;
    public GameObject somBirds;

    void Start()
    {
        neverDone = true;
    }

    void OnTriggerEnter(Collider collision)
    {
        if (neverDone)
        {
            dark.SetActive(true);
            StartCoroutine(ExecuteAfterTime(6));
            RenderSettings.skybox = noite;
            sun.SetActive(false);
            birds.SetActive(false);
            fireflies.SetActive(true);
            firefliesBackground.SetActive(true);
            firefliesBackground2.SetActive(true);
            somBirds.SetActive(false);
            Destroy(butterfliesSpawner);
            neverDone = false; //para o código correr só uma vez. o mesmo foi aplicado
ao script das folhas
        }
    }

    IEnumerator ExecuteAfterTime(float time)
    {
        yield return new WaitForSeconds(time);
        Debug.Log("Colisao a desativar");

        birdsSound1.SetActive(false);
        birdsSound2.SetActive(false);

        cricketSound1.SetActive(true);
        cricketSound2.SetActive(true);
    }
}

```

Figura 49 - Script atribuído à segunda árvore para realizar a transição para a noite.

```

public class FollowTrail : MonoBehaviour
{

    public GameObject trail;
    public Queue<Vector3> trailPositions = new Queue<Vector3>();
    private Vector3 targetPosition;
    public float speed = 20f;
    public bool follow = false;
    private float nextActionTime = 0.0f;
    public float period = 0.1f;

    void Update()
    {
        // Periodically record positions for posterior rendering
        if (Time.time > nextActionTime)
        {
            nextActionTime += period;
            trailPositions.Enqueue(trail.transform.position);
        }

        if (follow)
            Follow();
    }

    public void StartFollowing()
    {
        follow = true;
        targetPosition = trailPositions.Dequeue();
        transform.position = targetPosition;
    }

    void Follow()
    {
        // Move and rotate object toward position
        transform.forward = Vector3.RotateTowards(transform.forward, targetPosition -
transform.position, speed * Time.deltaTime, 4.0f);
        transform.position = Vector3.MoveTowards(transform.position, targetPosition,
speed * Time.deltaTime);

        // If we reached an intermediate position, move to the next one
        if (transform.position == targetPosition)
        {
            if (trailPositions.Count != 0) {
                targetPosition = trailPositions.Dequeue();
            }
            else
                follow = false;
        }
    }
}

```

Figura 50 - Código completo do script "Follow Trail", responsável pela renderização da linha vermelha.

```

1 public class HandPinchSelect : MonoBehaviour
2 {
3     public GameObject ovrCameraRig;
4     public GameObject centerCamera;
5
6     private bool noMore;
7
8     OVRHand hand;
9     bool isPinkyFingerPinching;
10    float pinkyFingerPinchStrength;
11    OVRHand.TrackingConfidence confidence;
12
13    public GameObject target;
14    private Vector3 position;
15
16    public float waitTime;
17    public GameObject plane;
18
19    void Start()
20    {
21        hand = GetComponent<OVRHand>();
22        position = ovrCameraRig.transform.position;
23        noMore = true;
24    }
25    void Update()
26    {
27        if (noMore){
28            isPinkyFingerPinching =
hand.GetFingerIsPinching(OVRHand.HandFinger.Pinky);
29            pinkyFingerPinchStrength =
hand.GetFingerPinchStrength(OVRHand.HandFinger.Pinky);
30            confidence = hand.GetFingerConfidence(OVRHand.HandFinger.Pinky);
31
32            if (isPinkyFingerPinching && pinkyFingerPinchStrength >= 0.8f &&
confidence == OVRHand.TrackingConfidence.High)
33            {
34                StartCoroutine(Recenter());
36                noMore = false;
37            }
38        }
39    }
40    IEnumerator Recenter()
41    {
42        yield return new WaitForEndOfFrame();
43        Vector3 difference = new Vector3(position.x -
centerCamera.transform.position.x, position.y - centerCamera.transform.position.y,
position.z - centerCamera.transform.position.z);
44        ovrCameraRig.transform.position += difference;
45    }
46 }

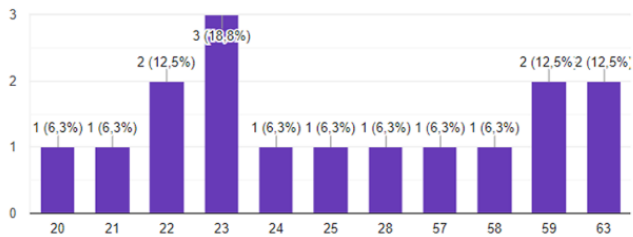
```

Figura 51 – Código completo do script “HandPinchSelect”, encarregado de realocar o utilizador no início da experiência.

## IV – Questionário

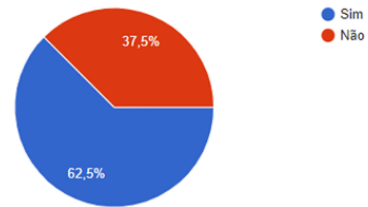
Qual a sua idade?

16 respostas



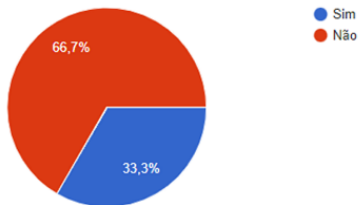
É a primeira vez que utiliza um headset de realidade virtual?

16 respostas



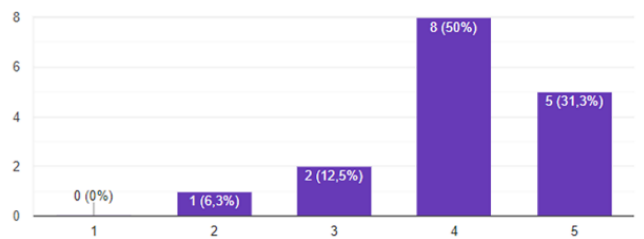
Caso tenha respondido que não à pergunta anterior, já tinha experimentado realidade virtual recorrendo a objetos tangíveis (ou seja, objetos físicos, à excepção do comando)?

3 respostas



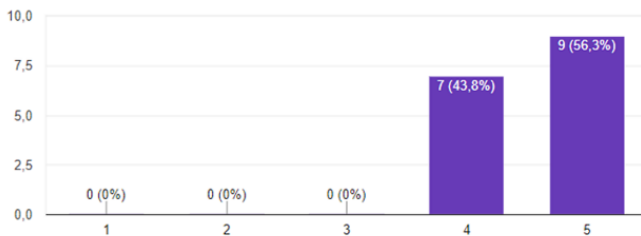
Foi-lhe natural andar no espaço virtual?

16 respostas



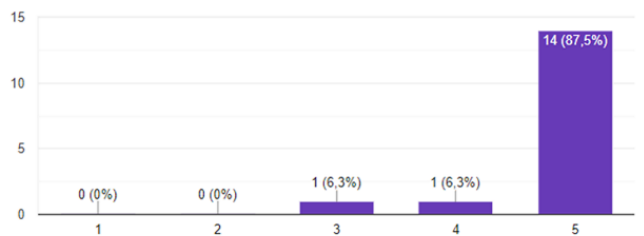
Achou adequadas as estratégias adotadas para o motivar a deslocar-se de uma árvore para outra?

16 respostas



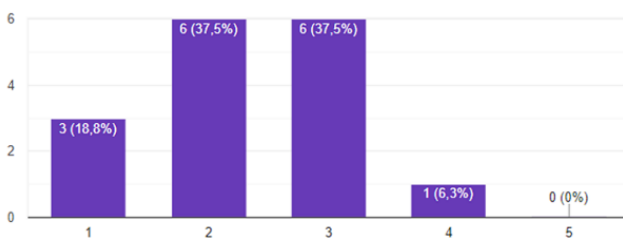
Sentiu que o facto de ter a presença de árvores reais ajudou a imersão na experiência?

16 respostas



Ter-se-ia sentido mais imerso/a no virtual caso não tivesse visto a sala de antemão?

16 respostas



Acha que a ligação entre o real e o virtual foi bem executada?

16 respostas

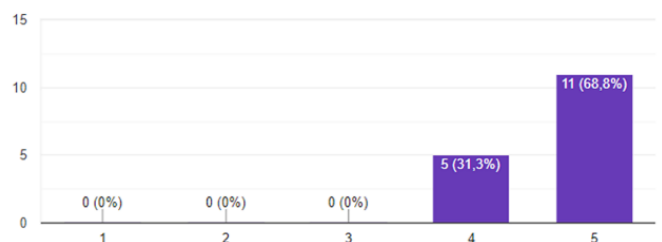
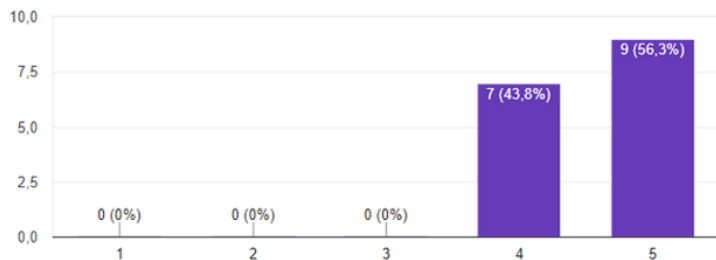


Figura 52 – Respostas, em percentagem, da primeira parte do questionário.

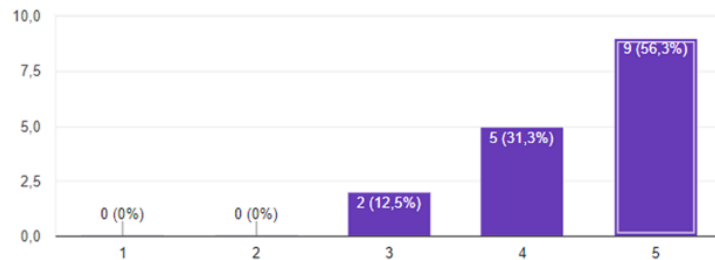
Relativamente ao aspeto visual e sonoro do espaço, achou credível a sua inserção num espaço natural real?

16 respostas



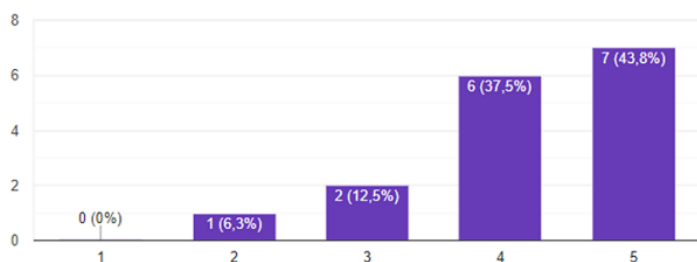
Ficou surpreendido com o que as suas ações provocaram?

16 respostas



Sentiu que a experiência reflete a relação destrutiva que o ser humano tem com a natureza?

16 respostas



O que acha que representa a linha vermelha que surge no final da experiência?

16 respostas

- A nossa jornada na vida
- as árvores caídas
- Representa a relação entre o ser humano e a natureza e a sua interdependência.
- literalmente: os sitios por onde a minha mão passou. Figurativamente: A minha ação no mundo virtual.
- O meu percurso
- O meu trajeto
- A ação do Homem na natureza.
- Relação entre homem e as árvores.
- O percurso do utilizador.
- Representa o rasto de ações deixadas pelo ser humano na natureza
- O trajeto percorrido durante a experiência
- A ação destrutiva
- Representa o movimento dos humanos pela natureza.
- A deslocação do individuo no espaço da experiência
- um alerta
- O caminho que a pessoa percorreu

Globalmente, gostou da experiência?

16 respostas

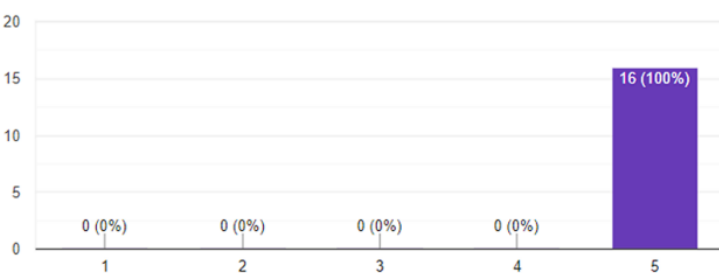


Figura 53 - Respostas, em percentagem, da segunda parte do questionário e respostas individuais à questão aberta.