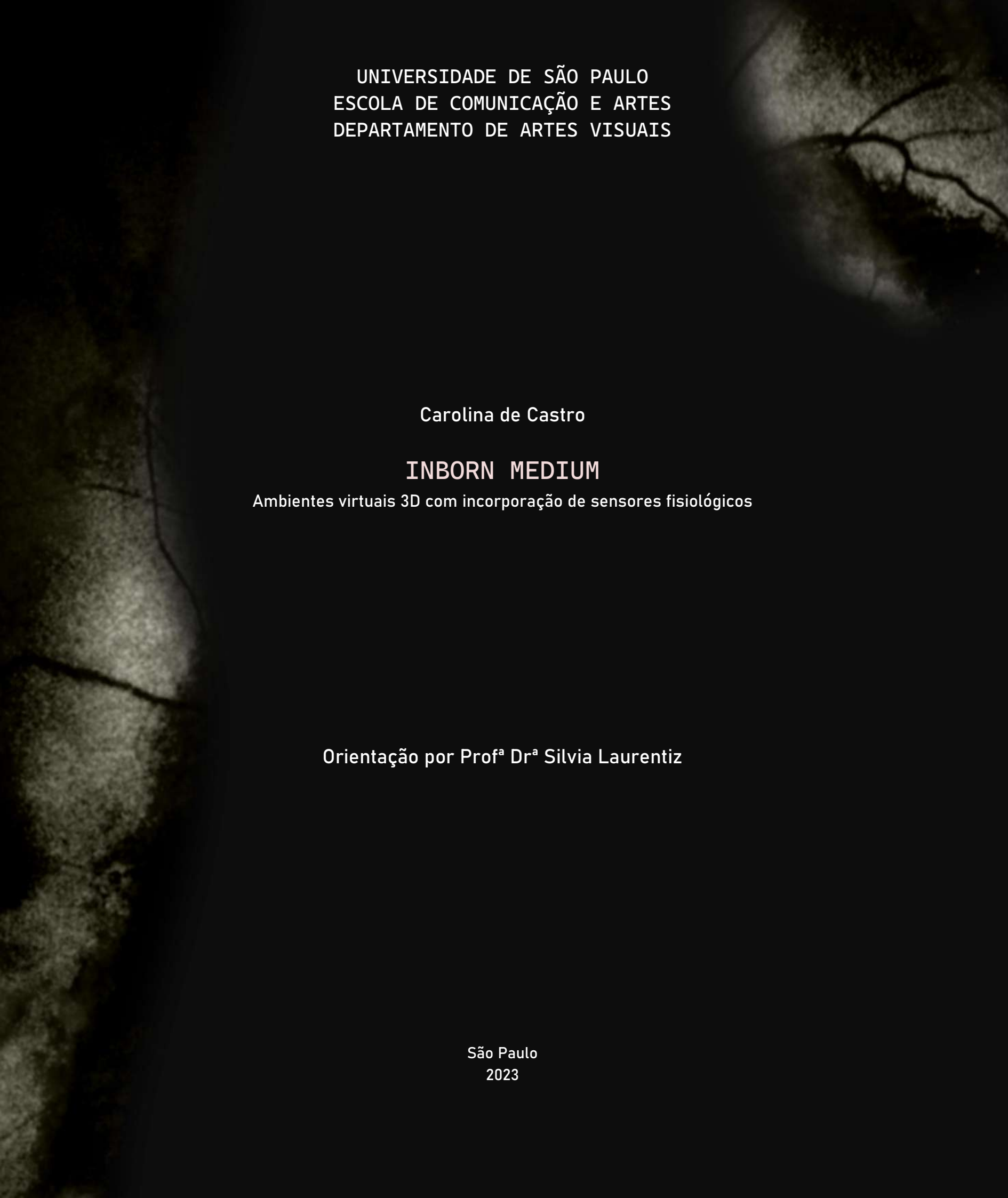


INBORN MEDIUM





UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE COMUNICAÇÃO E ARTES
DEPARTAMENTO DE ARTES VISUAIS

Carolina de Castro

INBORN MEDIUM

Ambientes virtuais 3D com incorporação de sensores fisiológicos

Orientação por Prof^a Dr^a Silvia Laurentiz

São Paulo
2023

RESUMO

A pesquisa busca explorar o potencial poético dos ambientes virtuais 3D com a incorporação do reconhecimento de emoções a partir do uso de sensores fisiológicos, se baseando em conceitos de computação afetiva, a fim de criar uma experiência de conexão com o corpo e a fisiologia, em um espaço simbólico inspirado pela paisagem interna da anatomia humana, ao que o ambiente se transforma em uma ferramenta de visualização e representação direta dos processos fisiológicos em curso a partir dos dados individuais do usuário.

Palavras-chave: Ambientes Virtuais; Reconhecimento de Emoções; Sensores Fisiológicos; Computação Afetiva; Biofeedback; Exploração do Interior do Corpo.

ABSTRACT

The research seeks to explore the poetic potential of 3D virtual environments with the incorporation of emotion recognition through the use of physiological sensors, based on affective computing concepts, in order to create an experience of connection with the body and physiology, in a symbolic space inspired by the internal landscape of human anatomy, as the environment becomes a visualization tool and direct representation of ongoing physiological processes based on the user's individual data.

Keywords: Virtual Environments; Emotion Recognition; Physiological Sensors; Affective Computing; Biofeedback; Inner Body Exploration.

SUMÁRIO

Introdução	4
1. Ambientes Virtuais	5
1.1. Ambientes Virtuais Hoje	8
1.2. Ambientes Virtuais na Arte	14
2. Computação Afetiva	24
2.1. Sensores Fisiológicos e Reconhecimento de Emoções	27
2.2. Computação Afetiva e Reconhecimento de Emoções na Arte	36
3. Trabalho Prático	42
3.1. Incorporação dos Sensores	46
Considerações Finais	52
Referências Bibliográficas	53
Apêndices	56

INTRODUÇÃO

Esse texto detalha a pesquisa e o processo de produção que levou a realização da obra *Inborn Medium*, uma experiência alegórica de conexão com o corpo, que investiga de maneira simbólica a fisiologia humana através de um ambiente virtual responsivo, onde os dados individuais do usuário são convertidos em *inputs* afetivos a partir do uso de sensores fisiológicos, servindo como estímulo para a transformação do espaço. Esse ambiente sintético, moldado por uma imagética inspirada na paisagem interna do corpo humano, se torna uma ferramenta de visualização e interação com o estado emocional do indivíduo, ao que conceitos relativos a computação afetiva são incorporados, gerando uma representação simbólica dos processos fisiológicos em curso.

A inspiração inicial para o tema de pesquisa surgiu do meu interesse pessoal em imagens médicas e sua estética e características icônicas, além da capacidade singular dessas imagens em materializar algo invisível a olho nu, proporcionando novas maneiras de explorar o corpo de maneiras impossíveis sem o auxílio dessas tecnologias. Partindo disso, a união dessas ideias com a modelagem 3D foi motivada pela capacidade oferecida pela computação gráfica de gerar ambientes altamente imersivos, ampliando ainda mais as possibilidades de investigação do corpo. A integração desses conceitos somada a elementos de computação afetiva, resulta na possibilidade de produção de uma experiência fluida e adaptável que reflete ainda mais profundamente os temas explorados, realçando as questões anatômicas e fisiológicas discutidas.

A pesquisa teórica, então, buscou se aprofundar mais nas propriedades das ferramentas a serem usadas para a produção do trabalho prático, com o texto sendo estruturado em três capítulos: o primeiro trata dos ambientes virtuais em si, suas características e usos típicos, a fim de explorar suas ferramentas e seu potencial para obras artísticas, apresentando exemplos mais gerais além de um subcapítulo específico sobre o uso de ambientes virtuais em trabalhos de arte. O segundo capítulo trata do campo da computação afetiva e reconhecimento de emoções, suas características, usos gerais, e potenciais usos para a arte. Por fim, o terceiro capítulo trata do trabalho prático em si, com a descrição e registro das etapas e processos que levaram à realização deste.

Esta pesquisa se justifica ao que busca novas abordagens na incorporação de sensores fisiológicos em trabalhos artísticos, a partir da incorporação de conceitos de computação afetiva em associação com o uso de ambientes virtuais, que combinados têm o potencial de gerar uma experiência de exploração dos nossos processos fisiológicos de forma simbólica, poética e também mais individualizada, ao que informações únicas referentes a cada usuário são adicionadas, resultando assim em uma interação ainda mais imersiva com a obra.

1

AMBIENTES VIRTUAIS

Um ambiente virtual pode ser definido como “uma exibição gerada por computador que permite ou obriga o usuário (ou usuários) a ter uma sensação de estar presente em um ambiente diferente daquele que realmente estão, e interagir com esse ambiente.”¹ (SCHRODER, 1996, p. 25 apud. SCHRODER, 2008, p. 2). Esses ambientes são ilusões, espaços sintéticos que nos permitem acessar e imergir em mundos simulados por computador e nos fazer sentir que “estamos lá” (ELLIS, 1994), e podem ser experienciados a partir de um ponto de vista egocêntrico (primeira pessoa) ou exocêntrico (terceira pessoa, normalmente através da incorporação de avatares) (ELLIS, 1991).

Eles podem ser representados em espaços bidimensionais, através de displays comuns de computador, ou em espaços tridimensionais, como CAVES² e *head-mounted displays*³. A partir disso, é importante entender como o conceito de ambiente virtual se relaciona com os de realidade virtual (VR)⁴ e realidade aumentada (AR)⁵: experiências de realidade virtual se baseiam nos ambientes virtuais gerados por computador, mas apresentam elementos únicos ao ampliar significativamente as sensações de imersão e interatividade ao substituírem a realidade do usuário através da sobreposição desta por determinada simulação, a partir de dispositivos como head-mounted displays para VR. A realidade aumentada, por sua vez, também se baseia em ambientes virtuais, mas diferente das experiências em VR, não substitui completamente a percepção que o usuário tem do mundo real, apenas a alterando ao permitir a visualização de objetos reais e virtuais simultaneamente em tempo real, criando a ilusão de uma mistura entre eles, através de displays comuns conectados a câmeras ou *head-mounted displays*. Hoje em dia, grande parte das experiências que se utilizam de ambientes virtuais se baseiam em tecnologias de VR e AR. (BILLINGHURST et al., 2015; LUM et al., 2020).

Ellis (1991) aponta a *metáfora do desktop*⁶, como a primeira iteração do conceito de ambiente virtual a ser implementada na informática, ao que ela transforma a interação entre o usuário e o computador de uma espécie de ‘conversa’, onde eles deveriam ‘falar’ com o computador (através de comandos de texto) para uma onde eles podem ‘agir’ seus comandos na tela, através da *ilusão de um ambiente* de escritório, diretamente executando seus desejos através da manipulação de símbolos na tela.

¹ Tradução livre do inglês: “a computer generated display that allows or compels the user (or users) to have a sense of being present in an environment other than the one they are actually in, and to interact with that environment”.

² *Cave automatic virtual environments* (CAVEs) são ambientes onde projetores são direcionados as paredes de uma sala em formato de cubo que se assemelha a uma caverna, a fim de gerar uma sensação de tridimensionalidade das projeções e consequentemente aumentar a imersão do usuário. O termo também faz referência a alegoria da caverna de Platão. Disponível em: <<https://is.gd/GdGqgh>>

³ Comumente conhecidos como óculos de realidade virtual, os *head-mounted displays* são dispositivos apoiados na cabeça do usuário que apresentam uma tela de exibição posicionada em frente aos olhos do mesmo, permitindo a visualização e a ilusão de completa imersão em projeções virtuais. Disponível em: <<https://is.gd/cDt0Ub>>

⁴ Do inglês *virtual reality*.

⁵ Do inglês *augmented reality*.

Esse exemplo nos mostra que desde seu início os ambientes virtuais já exibiam suas características principais, mesmo que de forma mais modesta, que são: **interatividade** (caracterizada como a capacidade do usuário e interagir com objetos no ambiente), **imersão** (que pode ser definida pela habilidade de uma tecnologia de criar uma sensação de presença em um ambiente virtual) e **envolvimento** (referente a diferentes graus de envolvimento do usuário com o ambiente), essas que, especialmente com a incorporação das tecnologias de VR, nos proporcionam a experiência mais próxima a do mundo real dentre todas as mídias, mas com a possibilidade da exploração de elementos além da nossa realidade. Ambientes virtuais nos possibilitam recriar o que não existe mais, além de criar o que nunca existiu, através das diversas técnicas de modelagem e renderização 3D e de simulações físicas e texturização, que nos permitem não apenas conhecer mais sobre nossa realidade, mas também explorar realidades possíveis (LUM et al., 2020; KEIL et al., 2021; CHAO, 2022).

O conceito de realidades ou mundos possíveis é discutido por Surman (2003) e se refere a cenários e proposições hipotéticas que se baseiam em estruturas contrafactuais coesas que poderiam ser reais, mas não são. São mundos que podem ser imaginados a partir de critérios específicos, e se relacionam diretamente com o conceito de *realidade perceptual*: a hierarquia de indícios presentes em uma imagem que faz com ela seja percebida como real, que é estabelecida a partir das expectativas de correspondência de determinado usuário aos elementos presentes no mundo real. Sendo assim, a correspondência de fenômenos como luz, cor, textura e movimento entre uma imagem virtual e o mundo real, aumenta a percepção desta como uma imagem possível, consequentemente aumentando a imersão do usuário.

A história do desenvolvimento dos ambientes virtuais está diretamente atrelada a da evolução da computação gráfica, visto que a modelagem 3D é a base fundamental para a produção deles. Datando dos anos 60, e tendo seu estabelecimento nos anos 90, as pesquisas nessa área se relacionam com o conceito de realidade perceptual devido aos repetidos esforços para a produção de imagens fotorrealistas geradas por computador, através da incorporação dos fenômenos físicos no processo, por exemplo, e especialmente através do tratamento da luz, que permite a concepção de mundos possíveis cada vez mais convincentes (LUCENA, 2001; SUNMAN, 2003).

⁶ *Desktop metaphor* ou metáfora do desktop é uma metáfora de interface criada com o intuito de facilitar a interação do usuário com o computador. Ela se baseia na organização de um escritório do mundo real, e usa as características de seus objetos (como arquivos e pastas) para mapear os comandos do sistema, criando assim uma analogia onde os controles da interface correspondem a funcionalidade dos objetos reais, como se fizessem parte de um escritório virtual. Disponível em: < <https://is.gd/eA3Cit> >

Ambientes Virtuais Hoje

Desde a criação do *Sketchpad*⁷ por Ivan Sutherland (1963) e a introdução da expressão *computer graphics* por William Fetter (1963), hoje, seis décadas desde seus primeiros grandes desenvolvimentos, a área da computação gráfica avançou exponencialmente, fazendo com que ela, e consequentemente os ambientes virtuais, passassem a ser parte essencial de diversos campos, revolucionando diversas indústrias e permitindo feitos antes inimagináveis. Com o barateamento das tecnologias, temos à disposição inúmeros programas de produção gráfica e modelagem 3D capazes de produzir renderizações⁸ extremamente realistas, com impressionante correspondência aos fenômenos reais, que permitem que eles sejam usados por áreas criativas e científicas com igual eficiência, incluindo opções gratuitas *open source*⁹ como o *Blender*, essas sendo até mesmo incorporadas ao fluxo de trabalho de grandes empresas (LUCENA, 2001; CHAO, 2022).

Dentre as áreas de atuação que se utilizam dos ambientes virtuais, é possível citar primeiramente a **arquitetura e engenharia**, onde a capacidade desses ambientes de gerar simulações e visualizações de lugares e objetos reais ou imaginados se tornou uma ferramenta indispensável para conceitualização, planejamento, prototipagem e manufatura em projetos de construção e reforma (fig. 1) assim como de produtos (fig. 2), permitindo um detalhamento maior, além da possibilidade de testes interativos e com modificações em tempo real, economizando tempo e dinheiro e diminuindo a chance de erros. Essa capacidade de simulação também é muito usada para **treinamento** de profissionais diversos (fig. 3) por proporcionar uma experiência controlada e sem riscos, e também em **propostas educacionais** voltados para crianças (fig. 4) e adultos por permitir melhor visualização e por consequência um melhor aprendizado de conceitos abstratos (LUM et al., 2020).

⁷ *Sketchpad* foi o primeiro software de produção 3D, e estabeleceu as bases teóricas para o desenvolvimento dos softwares para computação gráfica posteriormente. Criado por Ivan Sutherland para sua tese de doutorado no MIT. Disponível em: <<https://is.gd/ywlr2U>>

⁸ Renderização diz respeito ao processo de geração de imagens (fotorrealistas ou não) a partir de modelos computacionais. O processo trata de cálculos que permitem a incorporação de luz, texturas e sombras a uma cena composta por modelos virtuais. É comparável ao processo de arte-finalização, sendo então a etapa de acabamento de uma imagem virtual. Disponível em: <<https://is.gd/uulpn0>>.

⁹ *Open source* se refere a programas de código aberto, que são programas lançados sob uma licença de copyright que permite que qualquer pessoa tenha acesso a usar, estudar, mudar e distribuir o programa e seu código fonte por qualquer motivo. Isso permite que o desenvolvimento do programa seja gerado através da comunidade de usuários, o que possibilita que o programa seja disponibilizado de forma gratuita. Disponível em: <<https://is.gd/6bPqZe>>



Figura 1. Render de arquitetura produzido através do software 3DS Max. Imagem disponível em: <https://is.gd/Qkdvho>

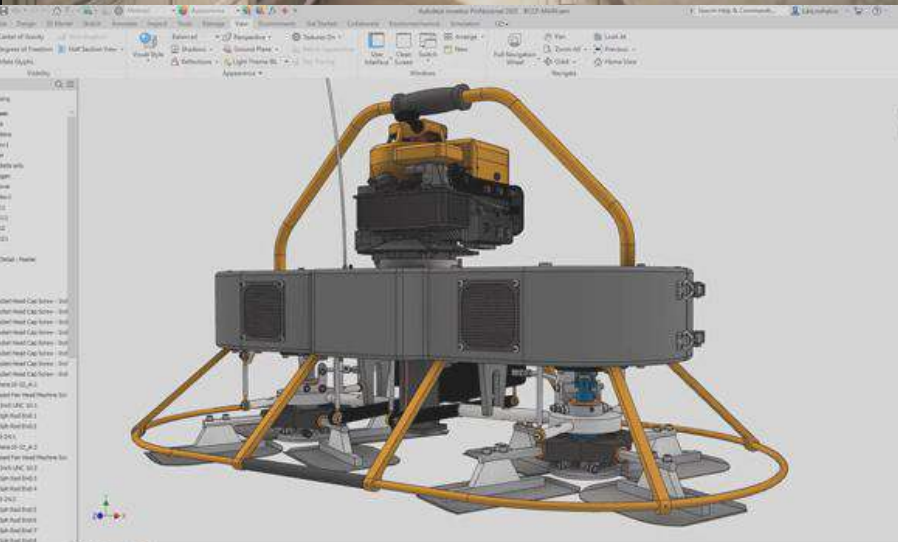


Figura 2. Captura de tela apresentando protótipo virtual criado no programa de desenvolvimento 3D Autodesk Inventor. Imagem disponível em: <https://is.gd/9uGZ7m>



Figura 3. VR para treinamento de pilotos da força aérea americana. Imagem disponível em: <https://is.gd/YetV10>



Figura 4. Alunos interagem com ambiente virtual em uma CAVE para o auxílio da aprendizagem sobre o sistema solar. Imagem disponível em: <https://is.gd/LYh0ok>

Essas simulações nos permitem ter acesso e navegar no que não existe mais, através de reconstruções digitais de edifícios antigos hoje em ruínas (fig. 5), e também ao que é de difícil acesso, como a superfície de outros planetas e o habitat de animais abissais marinhos, por exemplo, sendo muito usadas para **pesquisa e visualização de dados** (fig. 6) nas mais diversas **áreas científicas** (LUM et al. 2020; AGNELLO et al., 2019). Na saúde, os ambientes virtuais são usados para treinamento de médicos, planejamento de cirurgias (fig. 7; fig. 8), assim como planejamento e prototipagem de próteses, além de serem aplicados como forma de auxílio terapêutico para pacientes com dor crônica ou com transtorno de ansiedade, por exemplo. (LUM et al. 2020; PARO et al., 2022).

A área do **entretenimento**, por sua vez, é sem dúvidas a mais prolífica no que se diz respeito à produção e incorporação dos ambientes virtuais, sendo ela a principal responsável por impulsionar o desenvolvimento de software e hardware para computação gráfica. É praticamente impossível citar produções recentes que não se baseiam ao menos ligeiramente na produção gráfica, com os maiores lançamentos da indústria cinematográfica, por exemplo, se baseando fortemente e estando repletos de conteúdo gerado por computador. Na indústria dos games isso é ainda mais acentuado, com as produções sendo, em sua maior parte, inteiramente baseadas em processos computacionais (fig. 9), e com tecnologias de VR (fig. 10) e AR sendo incorporadas frequentemente (PALLAVICINI et al., 2019)

É interessante apontar também como a interface dos programas de modelagem 3D já são ambientes virtuais interativos em si, onde o usuário consegue manipular e modificar objetos. É possível rotacionar, cortar, aplicar texturas, inserir iluminação, entre outros, através de comandos que procuram fazer analogias a ações do mundo real e a processos analógicos como escultura em argila, por exemplo, seguindo a mesma lógica da *metáfora do desktop*. Usando o software *Blender* como exemplo (fig. 11) é possível citar como até mesmo elementos como o *grid* em perspectiva da exibição, que auxilia na ilusão de espaço tridimensional, exercem papel importante na sensação de imersão.

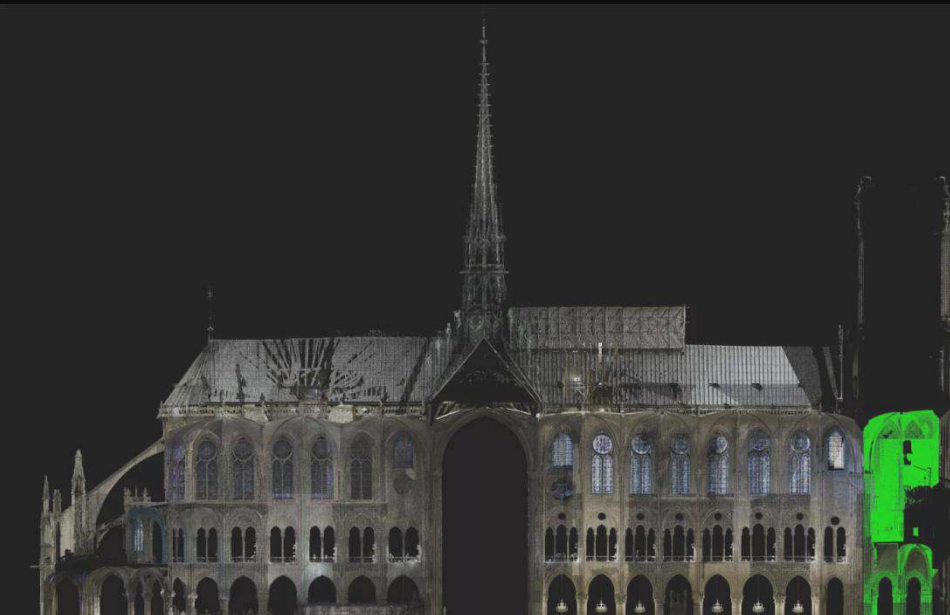


Figura 5. Modelo 3D da Catedral de Notre Dame, usado em estudos para a reconstrução da mesma após o incêndio que a destruiu. Imagem disponível em: < <https://is.gd/rkVtEA> >



Figura 6. Ambiente virtual para visualização de dados meteorológicos para fins de pesquisa. Imagem disponível em: < <https://is.gd/cbdf5d> >



Figura 7. Ambiente virtual em AR sendo usado para planejamento de cirurgia. Imagem disponível em: < <https://is.gd/zbN5Ql> >



Figura 8. Ambiente virtual em VR sendo usado para planejamento de cirurgia. Imagem disponível em: < <https://is.gd/pSeYAM> >



Figura 9. Captura de tela retirada do videogame Stray. Imagem disponível em: <<https://is.gd/o4ZGGg>>



Figura 10. Captura de tela do videogame de cartas em VR Demeo. Imagem disponível em: <<https://is.gd/onB1FP>>

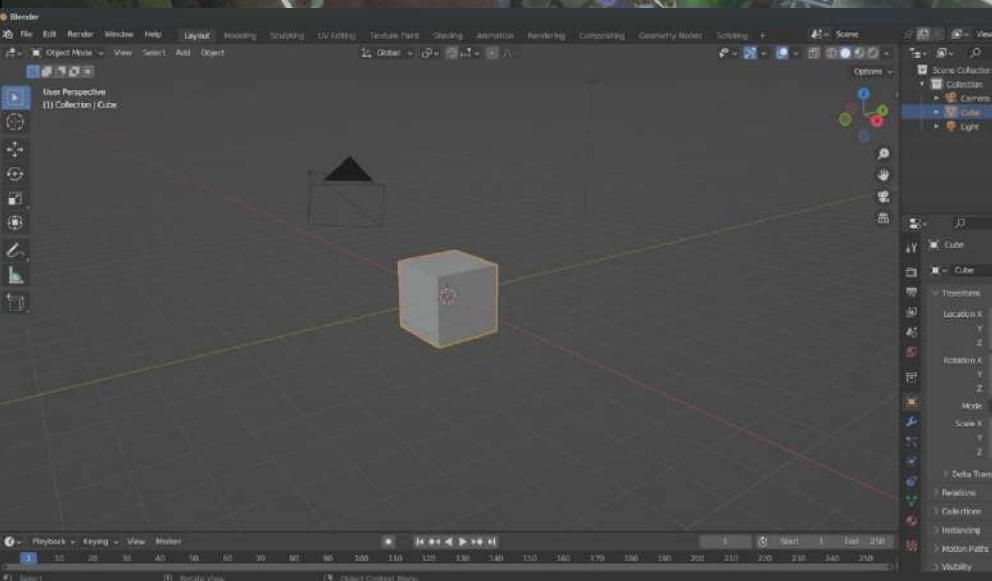


Figura 11. Captura de tela do software de modelagem 3D Blender. Imagem produzida pela autora.

Essas tecnologias de modelagem permitem a construção de paisagens virtuais tridimensionais muito complexas, e os avanços na evolução dos hardwares de ano a ano anunciam a possibilidade de feitos ainda mais impressionantes no que se diz respeito a renderizações num futuro próximo. Os recursos de realidade virtual, por sua vez, aumentam o leque de possibilidades que os ambientes virtuais oferecem no que se diz respeito a imersão e envolvimento do usuário ao permitir que ele ‘atravesse’ a tela de exibição e realmente se sinta presente no ambiente. Isso se dá através da ilusão criada pela substituição total da imagem em seu campo de visão, eliminando possíveis distrações. Essas experiências que se ancoram nas características perceptivas humanas, na forma com que nosso cérebro apreende a realidade, e em sua inclinação natural a acreditar naquilo que vemos, fazendo com que até mesmo ambientes não muito realistas no sentido gráfico se tornem completamente convincentes em uma experiência em VR, demonstrando sua forte eficiência como ferramenta de imersão. (AGNELLO et al., 2019; LUM et al. 2020; CHAO, 2022)

Mas mesmo sem a imersão total oferecida pelo VR, os avanços na qualidade gráfica permitem que mesmo exibições bidimensionais comuns, em telas de computador, se tornem altamente engajantes e convincentes, com seu realismo de representação fazendo com que o envolvimento com o mundo apresentado seja intenso e permitindo experiências únicas a partir da incorporação de recursos das *game engines*¹⁰, por exemplo. Esses softwares proporcionam um nível de interação ainda maior ao usuário ao permitir a incorporação de *responsividade* de objetos (fazendo com que eles reajam corretamente a elementos como a força e a velocidade da ação do usuário através de cálculos físicos, aumentando a sensação de realismo), *áudio espacial* (que permite o mapeamento do som no ambiente tridimensional, fazendo que o usuário tenha uma ilusão de *espacialidade* e *distância* no ambiente virtual, aumentando a imersão), além da adição de *comandos de voz* e *diferentes tipos de avatares* capazes de mudar de forma significativa a percepção de um usuário sobre a experiência, entre outros (KEIL et al., 2020).

¹⁰ *Game engines* ou motores de jogos são programas de computador usados na produção de videogames, que proporcionam, além das ferramentas presentes em outros programas como renderização, simulações físicas e animação, a implementação de possibilidades de interação necessárias para os jogos. Disponível em: <<https://is.gd/OIWG0p>>

Ambientes Virtuais na Arte

Artistas vem produzindo obras baseadas em ambientes virtuais desde os primeiros grandes marcos tecnológicos na área da computação gráfica nos anos 90. Trabalhos como *Perceptual Arena* (1993; fig. 12) de Ulrike Gabriel, *Osmose* (1995; fig. 13.) e *Ephémère* (1998; fig. 14) de Char Davies, são frequentemente mencionados como pioneiros nesse quesito. Essas 'artistas fundadoras', à parte de sua produção visual, também escreveram diversos ensaios teóricos a respeito das potências e possibilidades poéticas dessas novas tecnologias.

Char Davies, em seu ensaio *Virtual Spaces* (2004), discute sobre o conceito de imersão e define ambientes virtuais imersivos como “espaços virtuais artificiais gerados por computador em que alguém pode, aparentemente, com o auxílio de vários dispositivos, entrar”¹¹. Ela discorre sobre a capacidade desses ambientes de gerarem corporificações de modelos mentais e construções abstratas, permitindo a exploração cinestésica, e uma convergência única entre o que é imaterial e o que pode ser sentido pelo corpo, do imaginário e do real.

A noção de artificialidade abordada por ela, traz à tona uma interessante leitura a respeito de trabalhos de arte em ambientes virtuais quando interpretados a partir da noção de *artificial apparatus* de John Dewey. Em seu livro *How We Think* (1910, pg. 22), Dewey define esses aparatos artificiais como “modificações de coisas naturais, intencionalmente projetadas a fim de servir melhor do que seu estado natural em indicar o escondido, o ausente, o remoto”. Sendo assim, a natureza dos ambientes virtuais, proporciona aos artistas maneiras únicas de pensar sobre os espaços, e sobre a relação entre eles e o corpo, gerando contextos perceptuais inéditos e únicos, permitindo a exploração de novas experiências e estados mentais, nos apresentando novos *insights* sobre o mundo.

11 Tradução livre do inglês: “a computer-generated artificial environment that one can seemingly, with the aid of various devices, go inside.”



Figura 12. Perceptual Arena de Ulrike Gabriel. (1993) Imagem disponível em: <https://is.gd/3WNWWJ>



Figura 13. Osmose de Char Davies (1995). Imagem digital capturada em tempo real através de head-mounted display durante experiência imersiva. Imagem disponível em: <https://is.gd/B4xjK9>



Figura 14. Ephémère de Char Davies (1998). Imagem digital capturada em tempo real através de head-mounted display durante experiência imersiva. Imagem disponível em: <https://is.gd/B4xjK9>

Desde então, diversos outros trabalhos baseados em ambientes virtuais foram produzidos, explorando diferentes formas de exibição, como projeções com displays cilíndricos em *Place-a user's manual* de Jeffrey Shaw (1995; fig. 15), *head-mounted displays* em *Heartscapes* de Diana Domingues (2005; fig. 16), e CAVE em *Transformation* de Tânia Fraga (2007; fig. 17), gerando diferentes espacialidades e formas de presença, explorando inúmeras poéticas e inclusive incorporando esses ambientes a outras disciplinas artísticas como escultura e performance (fig. 17). No contexto brasileiro, as artistas Diana Domingues e Tânia Fraga podem ser citadas como exemplo de artistas com uma grande produção baseada em computação gráfica e ambientes virtuais, também se iniciando nos anos 90, e percorrendo até os dias atuais.

Ao tratar de presença e imersão em ambientes virtuais, inevitavelmente nos deparamos com a questão de como representar o *corpo* do indivíduo nesses espaços, já que ele é o responsável por estruturar nossa percepção e mediar nossos encontros com o mundo exterior, tendo assim, significativa influência nas experiências com os ambientes. No decorrer dos anos, diferentes formas de representação foram propostas e exploradas, sendo a visão em primeira pessoa, onde o indivíduo tem a ilusão da experiência do ambiente a partir de seus próprios olhos, a mais clássica, e presente em todos os exemplos de obras apresentados neste capítulo até então. Esse tipo de representação oferece a experiência mais próxima da que temos normalmente, de um ser que habita e engaja em um mundo físico, mais próxima da total ilusão de uma observação não mediada (MORIE, 2007; DOMINGUES et al., 2014).

A outra forma de representação mais comum, é a visão em terceira pessoa a partir de *avatares*, onde o indivíduo experiencia o ambiente como um observador de uma outra entidade, muitas vezes não humana, a partir da qual a interação com o ambiente acontece em uma experiência extracorpórea, sendo *Brush Soul* de Rebecca Allen (1999, fig. 18) e *EDEN* de Ivano Salonia (2020, fig. 19), bons exemplos (MORIE, 2007).

A palavra *avatar*, tem origem na mitologia hindu e se refere a encarnação de um ser espiritual em uma forma corpórea. Esse conceito pode ser observado em um outro tipo de experiência proporcionada por ambientes virtuais, onde o indivíduo não apenas observa e controla o *avatar*, mas efetivamente habita seu corpo, passando então a ter uma visão em primeira pessoa a partir de um corpo que não é seu, como em *Placeholder* de Brenda Laurel e Rachel Strickland (1992, fig. 20) e *In the Eyes of the Animal*, do coletivo de artistas Marshmallow Laser Feast (2016, fig. 21), onde o indivíduo pode habitar o corpo de animais distintos e perceber o mundo a partir de diferentes perspectivas sensoriais através dos olhos deles (MORIE, 2007).



Figura 15. Place-a user's manual de Jeffrey Shaw (1995). Ambiente virtual projetado em displays cilíndricos. Imagem disponível em: <https://is.gd/ogT G Q g>

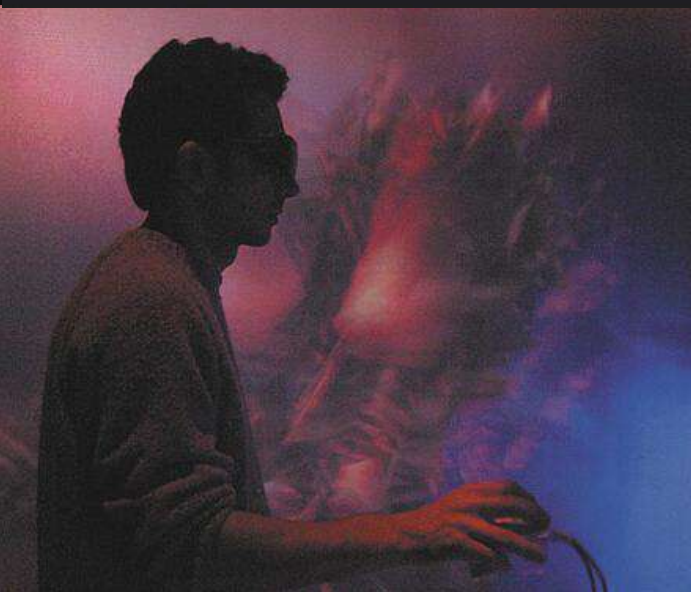


Figura 16. Heartscapes de Diana Domingues (2005). Ambiente virtual exibido através de VR e CAVE. Imagem disponível em: <https://is.gd/gRX X C c>



Figura 17. Transformation de Tânia Fraga (2007). Performance de dança incorporada a ambiente virtual em CAVE. Imagem disponível em: <https://is.gd/f0JeX v>



Figura 18. Captura de tela da obra em ambiente virtual Brush Soul de Rebecca Allen (1999). Disponível em: <<https://is.gd/FvvXRX>>



Figura 19. Captura de tela da obra em ambiente virtual EDEN de Ivano Saltonia (2020). Disponível em: <<https://is.gd/BTssKe>>



Figura 20. Captura de tela da obra em ambiente virtual Placeholder de Brenda Laurel e Rachel Strickland (1992), apresentando as quatro representações alegóricas de animais que o usuário pode escolher. Imagem disponível em: <<https://is.gd/gxyvPS>>.

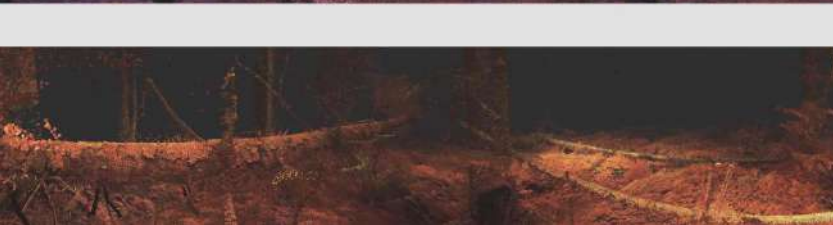


Figura 21. Captura de tela da obra em ambiente virtual In the Eyes of the Animal de Marshmallow Laser Feast (2016), com a representação da visão de três animais diferentes. Imagem disponível em: <<https://is.gd/bwelvM>>

A evolução e popularização das tecnologias gráficas permitiu que atualmente os ambientes virtuais e dispositivos VR sejam frequentemente incorporados a trabalhos artísticos, com até mesmo artistas reconhecidos por produções realizadas majoritariamente por outras disciplinas artísticas, passando a produzir obras em realidade virtual, sendo *Chalkroom* de Laurie Anderson¹² em colaboração com Hsin-Chien Huang (2017, fig. 22) e *Into Yourself, Fall* de Anish Kapoor¹³ (2018, fig. 23), bons exemplos.

Durante o período de lockdown por conta da pandemia de COVID-19, uma outra iteração artística usando essas tecnologias foi popularizada: a modalidade de exposições de arte realizadas inteiramente em ambientes virtuais. Diversos dos maiores museus do mundo passaram a abrir seus acervos ao público através de versões completamente digitais de suas obras¹⁴. O *Museum of Other Realities* (fig. 24) se encaixa nesse fenômeno, porém tendo como diferencial o seu acervo composto inteiramente por obras produzidas a partir de modelagem 3D e realidade virtual e aumentada (CLINI et al., 2020).

Lucena, em seu livro de 2001, discorre sobre o histórico da computação gráfica até aquele momento, e afirma que com o avanço das tecnologias e a flexibilização das máquinas, essas se tornam cada vez mais úteis ao artista, servindo de maneira tão eficaz quanto os tradicionais lápis e papel. Hoje, a partir da observação da enorme quantidade de artistas que se utilizam primariamente de meios digitais para sua produção, podemos considerar essa afirmação como confirmada, ao que os ambientes virtuais se estabeleceram como ferramentas de expressão visual, com diversos softwares sendo inclusive desenvolvidos especificamente para a produção artística.

O mais recente exemplo de ferramentas voltadas para arte é o *Tilt Brush*, desenvolvido pelo Google, e apresentado ao público em 2017 na feira *Art Basel* em Hong Kong, através de uma colaboração da *Google Arts & Culture*¹⁵ e artistas especializados em produção em realidade virtual. Esse software permite a produção de desenhos e pinturas (fig. 25) enquanto os artistas estão imersos em ambientes virtuais, gerando assim espaços criativos tridimensionais em tempo real (fig. 26).

¹² Laurie Anderson é uma artista americana nascida em 1947, mais conhecida por suas composições musicais, performances e projetos multimídia. Disponível em: <<https://is.gd/9nu3Rf>>.

¹³ Anish Kapoor é um artista indo-britânico nascido em 1954, mais conhecido por suas esculturas e instalações. Disponível em: <<https://is.gd/jCB2C0>>.

¹⁴ A digitalização de obras se dá através de processos como o de escaneamento tridimensional, fotogrametria e filmagens em 360°, que permitem a navegação em uma simulação virtual do espaço expositivo. British Museum, Louvre e MASP são alguns exemplos de museus que adotaram as tours virtuais online. Disponível em: <<https://is.gd/pmzl4q>>.

¹⁵ *Google Arts & Culture* é uma plataforma online mantida pelo Google em parceria com diversos museus e organizações culturais ao redor do mundo, que se utiliza da tecnologia do *Google Street View* para oferecer tours virtuais panorâmicos e visualização digital de milhares de imagens de obras artísticas em alta resolução. Disponível em: <<https://is.gd/JBdTjP>>.



Figura 22. Captura de tela da obra em ambiente virtual Chalkroom de Laurie Anderson e Hsin-Chien Huang (2017). Imagem disponível em: <<https://is.gd/EMKRSG>>



Figura 23. Captura de tela da obra ambiente virtual Into Yourself, Fall de Anish Kapoor (2018). Imagem disponível em: <<https://is.gd/rWT1iL>>



Figura 24. Captura de tela do espaço expositivo do Museum of Other Realities (MOR), apresentando a obra virtual Imateria de Isaac Cohen (2020). Imagem disponível em: <<https://is.gd/GK2sXY>>



Figura 25. Captura de tela do ambiente virtual *The Previous Life of the Yimatu Mountain* do artista chinês Sun Xun (2017), criada a partir do software Tilt Brush. Imagem disponível em: <<https://is.gd/OnNdZ>>



Figura 26. Cientista da computação e artista Daniel Keefe utiliza o software Tilt Brush para criar desenhos tridimensionais que são projetados em tempo real em uma CAVE. 2022. Imagem disponível em: <<https://is.gd/CvSoLP>>

Um tema recorrente na construção de ambientes virtuais, tanto artísticos como científicos, e que se conecta especificamente com a proposta deste trabalho, é a exploração do interior do corpo, com profissionais de ambas as áreas investigando o potencial dessas tecnologias para a visualização de estruturas viscerais. É interessante notar como a parceria entre artistas e cientistas para fins de representação anatômica data de muitos séculos, com artistas como Leonardo da Vinci já explorando essas questões no Renascimento através de seus desenhos, e como exemplo mais recente, é possível citar Arthur Lidov (fig. 27), famoso por suas ilustrações médicas publicadas em revistas científicas na década de 60. Hoje em dia, artistas especializados em modelagem 3D como John Mcghee (fig. 28) são responsáveis pela tradução de imagens médicas obtidas através de ressonância magnética, tomografia e microscopia, por exemplo, para os ambientes virtuais, a fim de melhorar a compreensão e visualização de características invisíveis aos nossos olhos, mas que se tornam visíveis a partir dessas tecnologias.

Além da representação anatômica para fins de pesquisa, artistas também vem explorando esse tema de forma poética e mais abstrata em ambientes virtuais desde o início da produção em computação gráfica, com trabalhos como *Heartscapes* e *Ephémère*, já mencionados nesse capítulo, e *In Viscera* (fig. 29) tratando justamente disso. Esses trabalhos buscam uma investigação do corpo de forma mais simbólica e emocional, a fim de gerar experiências de conexão com ele a partir das quais é possível explorar diferentes temas, indo além da pura visualização, e criando metáforas visuais, conectando o interior do corpo com os ambientes subterrâneos em *Ephémère*, focando na relação simbólica entre o coração e as emoções em *Heartscapes*, ou diretamente discutindo o conceito de inverso e a relação do corpo com as tecnologias médicas em *In Viscera*.

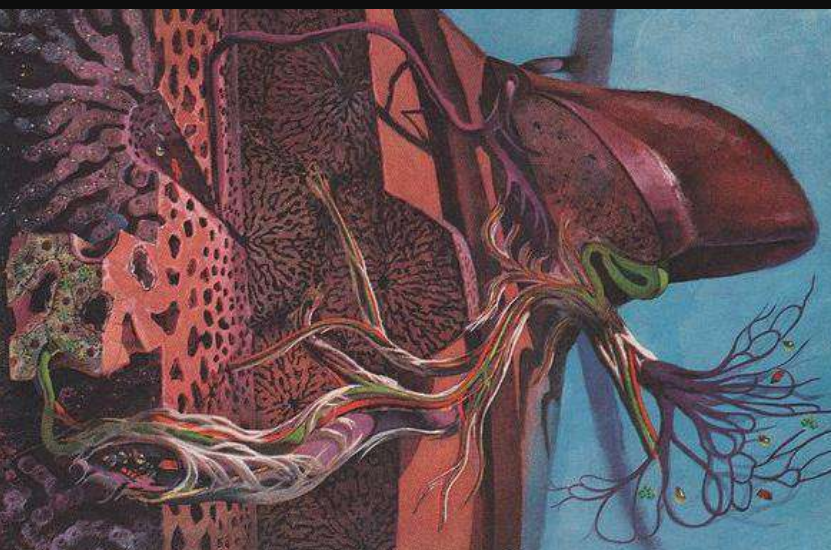


Figura 27. *The Phenomenal Digestive Journey of a Sandwich* de Arthur Lidov (1962). Ilustração publicada na revista LIFE representando processos digestivos. Imagem disponível em: <<https://is.gd/A5qKrt>>



Figura 28. *Nanoscape* de John McGhee (2021) em parceria com o *3D Visualisation Aesthetics Lab* da UNSW. Visualização tridimensional computadorizada de processos celulares e proteínas de uma célula cancerígena. Imagem disponível em: <<https://is.gd/WLN500>>

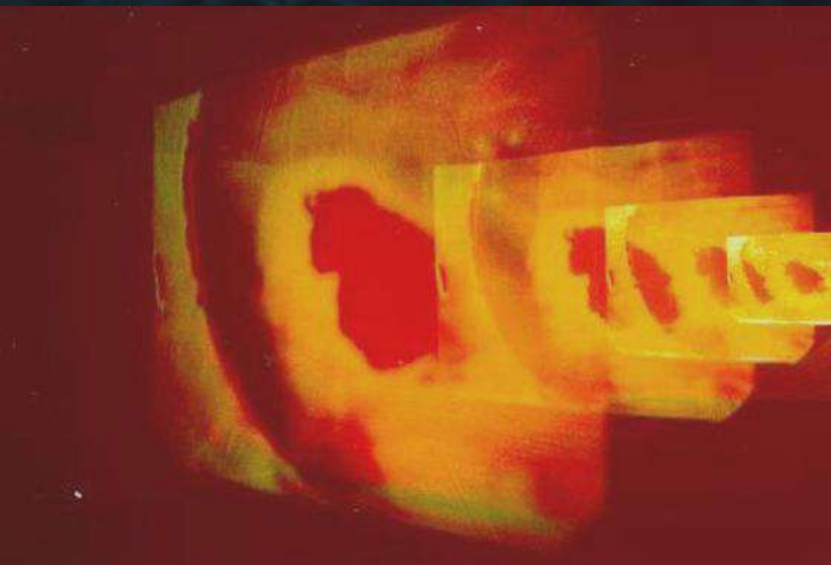


Figura 29. *In Viscera* de Diana Domingues (1995). Captura de tela de ambiente virtual imersivo criado a partir de imagens providas de videolaparoscopia. Imagem disponível em: <<https://is.gd/FG4GFE>>

A visão em primeira pessoa geralmente utilizada nesses trabalhos nos proporciona uma experiência impossível aos nossos sentidos humanos de outra maneira, ao que nos transforma em agentes microscópicos capazes de habitar e navegar livremente em uma paisagem intracorpórea ao mesmo tempo em que nos oferece uma experiência extracorpórea. Mas é interessante notar que o corpo é apresentado na maioria dos ambientes virtuais, tanto poéticos quanto científicos, de forma não específica, mostrando um modelo de corpo que busca representar a anatomia humana de forma geral, não se focando em singularidades, característica que pode ser positiva, mas também pode ser um empecilho a depender do objetivo do artista.

É aqui que a disciplina da computação afetiva entra em cena, ao oferecer a possibilidade do reconhecimento das emoções através de sensores fisiológicos, que podem ser incorporados a esses ambientes virtuais, promovendo assim uma nova camada de discussão poética à exploração do corpo, ao permitir a inclusão da individualidade de cada participante na experiência, e permitindo novos *insights* às investigações sobre o corpo e sua fisiologia, que serão discutidas no próximo capítulo, produzido através do programa de iniciação científica oferecido pelo Programa Unificado de Bolsas (PUB) financiado pelas Pró-Reitorias de Cultura e Extensão, Graduação e Pesquisa e Inovação da Universidade de São Paulo.

2

COMPUTAÇÃO AFETIVA

Cunhado em meados dos anos 90 por Rosalind Picard, o termo “Computação Afetiva” se refere ao campo de pesquisa que busca o desenvolvimento de tecnologias e sistemas que permitam que computadores sejam capazes de **reconhecer, interpretar, influenciar e responder às emoções humanas**, a fim de melhorar a interação humano-computador, e podendo ser aplicadas em diversas áreas como assistência terapêutica em saúde, aprendizagem e educação, arte e entretenimento, marketing, segurança, entre outros (PICARD, 1995).

O interesse no tema surge após novas pesquisas no campo da psicologia e neurociência passarem a reconhecer o importante papel das emoções na cognição humana: elas agem na nossa tomada de decisão, na nossa capacidade de adaptação, afetam nosso aprendizado e nossa memória, além de serem cruciais para nossa comunicação e interações sociais (ORTHONY et al., 1988), o que por muito tempo foi deixado de lado em prol de uma hipervalorização da racionalidade que influenciou diretamente a forma com que se pensava a respeito da computação e especialmente a respeito das inteligências artificiais (LISETTI, 1998).

Assim, visto a crescente e já enorme presença das tecnologias e da computação em todos os aspectos de nossas vidas, é essencial que as emoções sejam incorporadas a nossa interação com os computadores, permitindo que essa seja mais orientada às nossas necessidades, fazendo com que as máquinas se adaptem a nossa forma natural de se relacionar, e não o contrário, facilitando essa comunicação, e permitindo um grande avanço nas formas com que os computadores são capazes de nos auxiliar (PICARD, 1995). Mas incorporar *emoções* nessas áreas está longe de ser uma tarefa simples: há muita discordância a respeito da própria definição de emoção, além das dificuldades de se medir algo tão subjetivo, e tão propenso a diferenças individuais e culturais (ORTHONY et al., 1988).

Apesar disso, muitas teorias foram desenvolvidas sobre o tema e, embora existam diferentes abordagens, diversas pesquisas mostram que identificar emoções de forma relativamente precisa, ao menos em um nível mais básico, é possível através de tecnologias como as de identificação de expressão facial, sensores de movimento, análises de voz e padrões de fala e, principalmente, medidores de sinais fisiológicos corporais (EGGER et al., 2019; DZEDZICKIS et al., 2020).

Mesmo que tenha se desenvolvido muito nas duas décadas desde sua teorização por Picard, a computação afetiva ainda se encontra em sua “infância” dadas as diversas dificuldades que atrasam o crescimento da área, que vão desde as dificuldades intrínsecas ao manejo das emoções, dificuldades técnicas ligadas às tecnologias necessárias, e até mesmo questões éticas (PICARD, 2003). Ainda assim, experiências em computação afetiva já foram produzidas em áreas como medicina e psicologia, sendo usadas como auxílio terapêutico para o tratamento de mazelas físicas e cognitivas, como dor crônica e autismo, além de muitos exemplos notáveis em áreas mais casuais e voltadas ao entretenimento, como a área dos games e da realidade virtual e aumentada, essas especialmente relevantes para as artes visto sua intersecção. (CUNNINGHAM et al., 2020; KAPRALOS et al., 2022).

A partir desse entendimento, esse capítulo busca explorar as possibilidades poéticas da computação afetiva para as artes visuais através de um aprofundamento sobre as técnicas de reconhecimento de emoções, e exemplos de como essas tecnologias já vêm sendo incorporadas a trabalhos artísticos. Assim como artistas vem usando as tecnologias computacionais desde o início de seu desenvolvimento, e tendo importante papel nas discussões e no enriquecimento dessas áreas (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2003), a adesão deles às inovações da computação afetiva apresenta muito potencial para ambas as partes.

2.1

Sensores Fisiológicos e Reconhecimento de Emoções

Os **sensores fisiológicos** (fig. 30) são a principal base no que diz respeito ao reconhecimento das emoções, visto que os sinais fisiológicos relacionados às nossas respostas emocionais são a maneira mais palpável de acessar uma esfera tão permeada pela subjetividade como as emoções. Desde o século IX, teóricos vêm explorando a relação entre emoções e fisiologia, com a teoria Cannon-Bard¹⁶ desenvolvida em 1927 sendo um interessante exemplo. Por conta disso, a maior parte das pesquisas sobre reconhecimento de emoções se utiliza dos dados provindos de sensores fisiológicos, como sensores de **atividade cardíaca por eletrocardiograma (ECG)**, **resposta galvânica de pele (GRS)**, **atividade elétrica do cérebro por eletroencefalografia (EEG)**, além de mecanismos de reconhecimento de expressões faciais como foco principal de análise. (EGGER et al., 2019; DZEDZICKIS et al., 2020).

¹⁶ Teoria desenvolvida por Walter Cannon e Philip Bard em (1920-1930), que afirma que as emoções e as reações fisiológicas geradas frente a um estímulo específico são processos independentes, porém paralelos, ambos gerados pelo cérebro. Ela desafia a outra teoria mais proeminente na época, a James-Lange (1884), que afirma que as emoções são geradas em resposta às reações fisiológicas, essas que aparecem primeiro frente a um estímulo. Disponível em: < <https://is.gd/csN3hX> >

¹⁷ Do inglês heart-rate variability (HRV) a frequência cardíaca também pode ser medida por outro sistema mais simples, a fotopletismografia (do inglês photoplethysmography ou PPG), uma técnica óptica onde a mudança no volume de sangue nos tecidos é detectada através de uma fonte de luz e um fotodetector, (usualmente posicionados nos dedos) capazes de medir pequenas variações na luz transmitida ou refletida nos tecidos, associadas ao fluxo sanguíneo. Disponível em: < <https://is.gd/knX Pm8> >

¹⁸ Do termo em inglês electrodermal activity.

Sensores ECG são capazes de medir características referentes à atividade elétrica do coração, que é diretamente ligada ao funcionamento do sistema nervoso central, podendo então ser usada para reconhecimento de emoções a partir da análise da frequência cardíaca (HRV¹⁷) ou de outras características como a amplitude das ondas elétricas. Já os sensores GRS, também conhecidos como EDA¹⁸, conseguem detectar as mudanças de condutividade elétrica na pele que acontecem através de mudanças na produção de suor pelas glândulas apócrinas, diretamente relacionadas à atividade do sistema nervoso simpático e a reações de estresse e excitação. EEG, é considerado o padrão ouro dos sensores, por detectar atividade elétrica e variações nas frequências básicas de funcionamento do córtex cerebral, conhecidas como *ondas cerebrais*¹⁹, que estão diretamente relacionadas a estados psicológicos específicos (EGGER et al., 2019; DZEDZICKIS et al., 2020).

¹⁹ Existem cinco padrões básicos de amplitude de frequência: delta (δ , 0.5–4 Hz), associada a estados de sono profundo sem sonhos, processos de cura do corpo e perda da consciência corporal; theta (θ , 4–8 Hz), associada ao sono leve, aos sonhos, e estados de profundo relaxamento e meditação; alpha (α , 8–16 Hz), associada a estados ativos de concentração, criatividade e aprendizado, ou a estados de relaxamento onde a pessoa está acordada com os olhos fechados; beta (β , 16–32 Hz), associada a estados de alerta ansiosos, ou a processos de análise, preparação de informação e geração de novas ideias e soluções e gamma (γ , 32 Hz-above), associada a condições anormais como transtornos mentais, ou processamento simultâneo de informações de diferentes áreas do cérebro. Disponível em: < <https://is.gd/knX Pm8> >

²⁰ *Facial Action Coding System* (FACS) é um sistema de classificação de expressões faciais para reconhecimento de emoções. Desenvolvido em 1978 por Ekman e Friesen, e revisado em 2003 com a publicação do livro *Unmasking the Face*. Disponível em: < <https://is.gd/iK 5L D S> >

²¹ Do inglês *core emotions*, a primeira proposição dessa teoria foi feita por Silvan Tomkins em 1962. Ekman publicou um artigo defendendo o conceito de emoções básicas em 1992. A animação *Inside Out* da Pixar se baseia nessa teoria. Disponível em: < <https://is.gd/FT anE8> >

²² Modelo proposto por Robert Plutchik em 1980. É composto por oito emoções básicas: alegria, confiança, medo, surpresa, tristeza, nojo, raiva e antecipação, além de variações de intensidade para cada uma delas. Disponível em: < <https://is.gd/k3K H Q s> >

A detecção e reconhecimento de expressões faciais, por sua vez, é um processo bastante preciso, mas problemático no que se diz respeito a reconhecimento de emoções pois, embora nossas expressões se deem muitas vezes de forma natural e espontânea, é totalmente possível as controlar e manipular, afetando assim a eficácia reconhecimento. É importante ressaltar que o uso de múltiplos sensores é a melhor prática recomendada, pois permite maior precisão ao compensar os pontos fracos de cada sensor com dados adicionais um dos outros (EGGER et al., 2019; DZEDZICKIS et al., 2020).

O reconhecimento de emoções a partir de dados fisiológicos só é possível através de um processo específico cujo primeiro passo é a construção dos chamados **modelos emocionais**. Esses modelos se baseiam no entendimento de que existem princípios e mecanismos básicos ligados ao evento das emoções, características compartilhadas pelas pessoas ao experienciar cada estado afetivo, o que demonstraria uma estrutura emocional básica comum, permitindo assim a análise e reconhecimento deles a partir da detecção de padrões (ORTONY et al., 1988; EGGER et al., 2019; KAPRALOS et al., 2022).

Um clássico exemplo de como sinais físicos são compartilhados pode ser percebido na pesquisa de Paul Ekman publicada nos anos 70, que observou como diferentes culturas exibiam os mesmos padrões de expressão facial como reação a determinadas emoções. Essa pesquisa deu origem ao **FACS**²⁰ (fig. 31), modelo emocional baseado no conceito de *emoções básicas*²¹ onde todos os estados afetivos humanos seriam derivados de um número limitado de emoções principais, que no caso da proposta de Ekman seriam: alegria, medo, raiva, tristeza, nojo e surpresa. Modelos desenvolvidos a partir do conceito de emoções básicas são chamados de **modelos discretos** ou **categóricos**, e se fundamentam em noções de universalidade e compartilhamento intercultural, com a *roda de Plutchik*²² (fig. 32) sendo um outro exemplo interessante (PINILLA et al., 2021; WANG et al., 2022.).

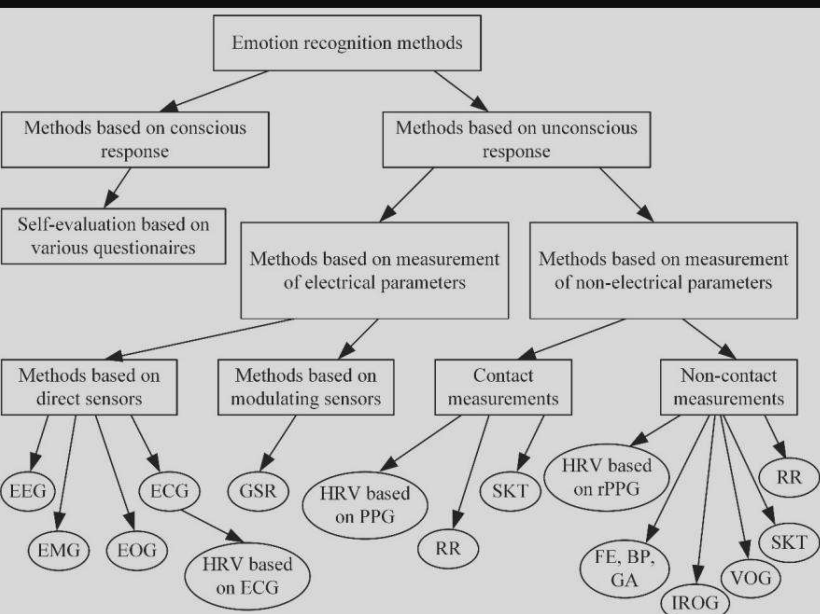


Figura 30. Esquema demonstrando os diferentes métodos de detecção usados para reconhecimento de emoções. Imagem disponível em: <https://is.gd/knXPm8>



Figura 31. Seis emoções básicas do modelo FACS desenvolvido por Ekman e Friesen (1978) Imagem disponível em: <https://is.gd/UqUHTI>

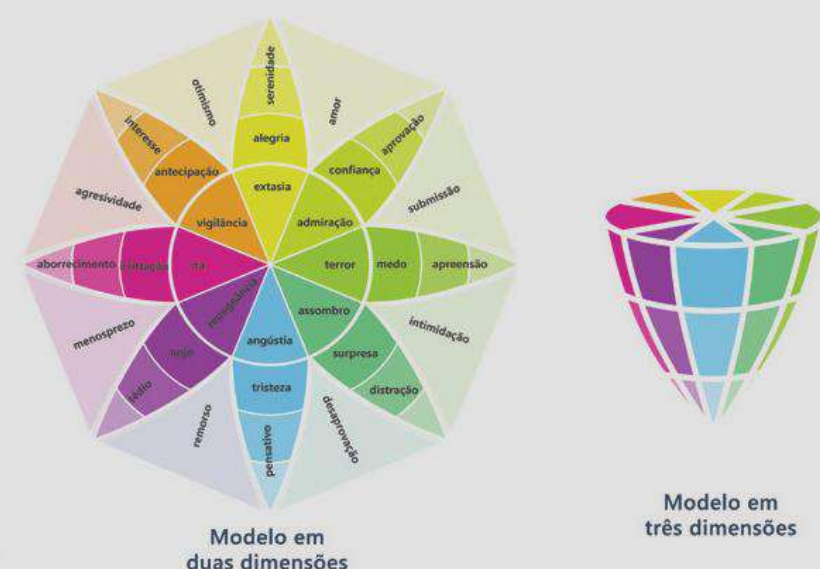


Figura 32. Roda de emoções de Plutchik apresentando oito *core emotions* e suas variações. Imagem disponível em: <https://is.gd/u9m7A n>

Embora tenha muito destaque e suporte dentro do campo da psicologia, o conceito de emoções básicas, e consequentemente os modelos discretos, também geram muita discordância, com vários pesquisadores e teóricos apontando limitações e problemas nessas ideias, como a enorme divergência de opiniões sobre quais emoções comporiam o grupo básico ou como diferenças individuais e culturais são pouco contempladas. Essas divergências levaram muitos pesquisadores a adotarem uma outra classe de modelos emocionais: **os modelos dimensionais** (EGGER et al., 2019; DZEDZICKIS et al., 2020; WANG et al., 2022).

Esses modelos se baseiam na ideia de que as emoções podem ser melhor compreendidas como o resultado da interação de diferentes dimensões cognitivas²³, geralmente descritas como valência (do inglês *valence*, se referindo graus de sensação agradável ou desagradável) e excitação (do inglês *arousal*, podendo ser alta ou baixa). Eles contemplam melhor as características subjetivas e individuais das emoções ao não categorizar emoções específicas, e sim um *continuum* de estados emocionais que podem surgir a partir da interpretação de um indivíduo a determinada situação, enquanto ainda estabelecem uma estrutura básica comum a todos.

O modelo dimensional mais usado, este que também é o principal modelo emocional geral utilizado para reconhecimento de emoções em propostas de computação afetiva, é o *Circumplex* (fig. 33) desenvolvido por James A. Russell em 1980, e que posteriormente foi modificado por outros teóricos, gerando variações como a roda emocional de Geneva²⁴ (fig. 34), que se utiliza da mesma medição bidimensional (EGGER et al., 2019; DZEDZICKIS et al., 2020; WANG et al., 2022).

Outro modelo interessante a ser mencionado é o OCC (fig. 35) desenvolvido por Ortony, Clore & Collins em 1988, que se baseia na teoria de *appraisal*²⁵, assim como o *Circumplex*, mas o explora de maneira mais aprofundada, gerando um modelo mais complexo. Um interessante diferencial desse modelo é que ele foi criado com enfoque específico na computação e no desenvolvimento de sistemas de inteligência artificial, com sua formulação feita de forma que pudesse ser facilmente adaptado para a construção de algoritmos, sendo muito popular entre os desenvolvedores hoje. (ORTONY et al., 1988; KAPRALOS et al., 2022).

²³ Modelo tridimensional desenvolvido por Wilhelm Wundt em 1897 foi o primeiro a organizar emoções em diferentes dimensões, sendo elas *pleasure-displeasure*, *excitement-inhibition* (*tranquillization*) e *tension-relaxation*. Disponível em: < <https://is.gd/SdUt0w> >

²⁴ *Geneva Emotional Wheel* (GEW) é o modelo emocional desenvolvido pela universidade de Geneva em 2005, adaptado do modelo *Circumplex* de James A. Russell (1980). Faz a adição de cores para representar os estados emocionais, além de substituir a dimensão de arousal por dominance, se referindo ao nível de controle do indivíduo sobre suas emoções. Disponível em: < <https://is.gd/8l1WZG> >

²⁵ Proposta por Richard Lazarus nos anos 50, a ideia de *appraisal* se refere a avaliação psicológica, processo cognitivo através do qual os indivíduos interpretam acontecimentos significativos no mundo, o que determina a sua reação emocional e sua experiência frente a eles. É a base da terapia cognitivo-comportamental (TCC), a mais aceita na área da psicoterapia hoje em dia. Disponível em: < <https://is.gd/Pc4NNB> >

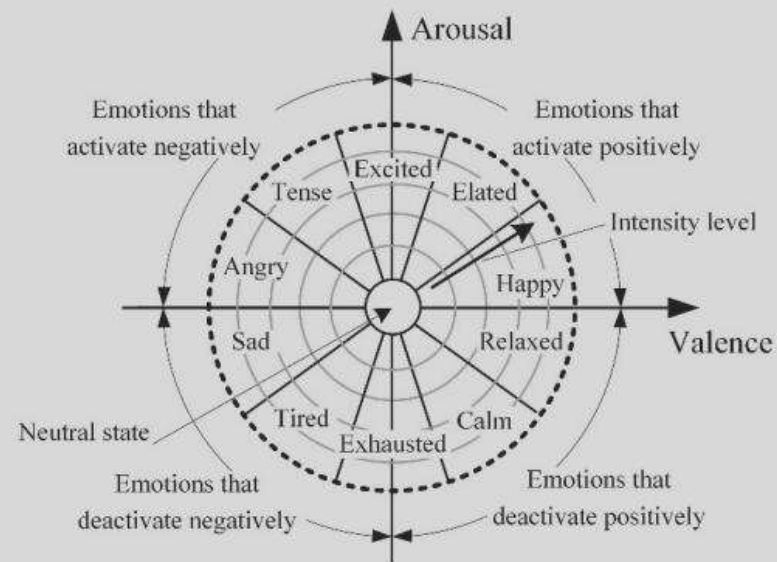


Figura 33. Modelo emocional Circumplex de James A. Russell (1980). Note que as emoções apresentadas no modelo são apenas descritivas, sem a intenção de estabelecer categorias específicas. Imagem disponível: < <https://is.gd/knX Pm8>>

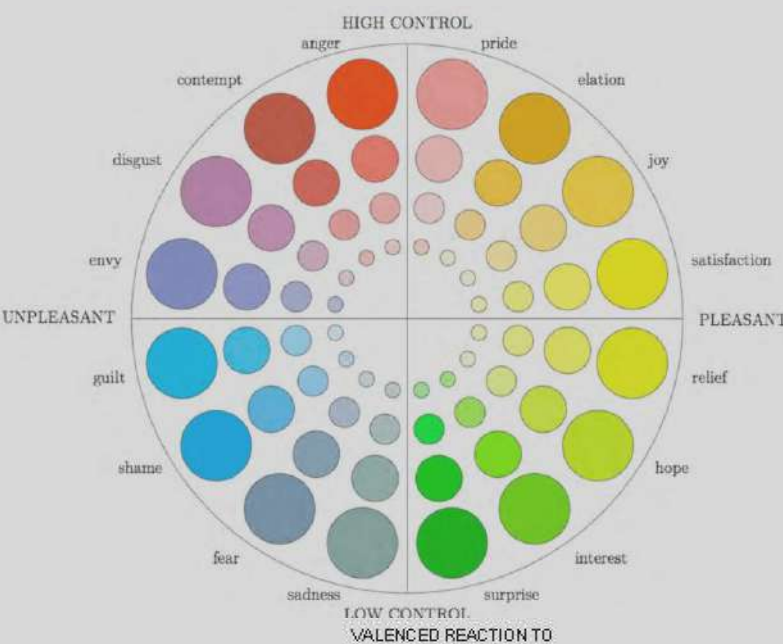


Figura 34. Modelo emocional desenvolvido pela Universidade de Geneve (2005) baseado no modelo Circumplex de James A. Russell. Imagem disponível em: < <https://is.gd/pKBZA p>>

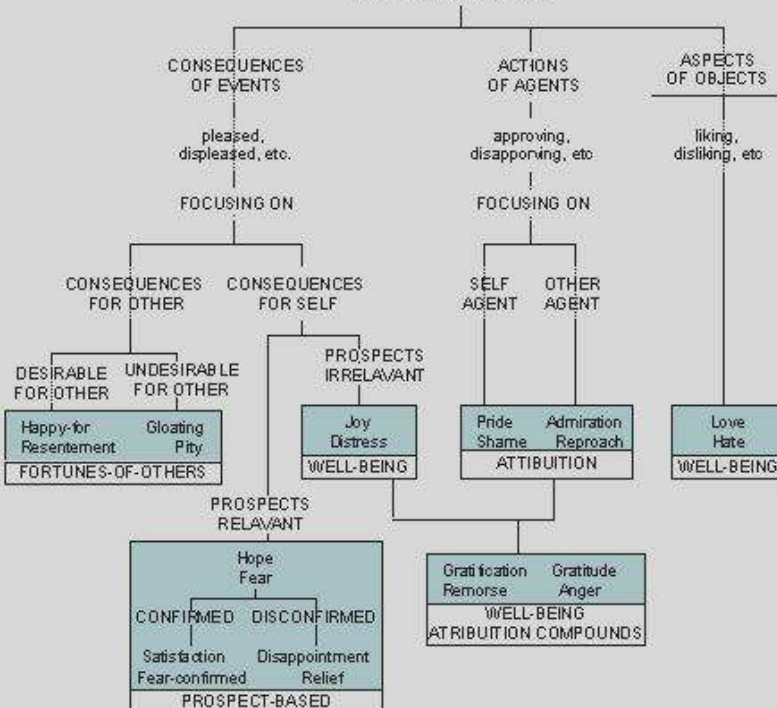


Figura 35. Modelo OCC de Ortony, Clore & Collins (1988). Imagem disponível em: < <https://is.gd/iJltzd>>

O entendimento de que as emoções têm características estruturais compartilhadas entre diferentes indivíduos gerou o interesse dos pesquisadores em encontrar padrões também nos estímulos capazes de gerar determinadas emoções. É possível encontrar diversas pesquisas que apontam correspondência entre diferentes elementos visuais e sonoros como variação de cor, saturação e brilho, formas e linhas mais ou menos arredondadas, diferentes texturas, diferentes padrões de curvatura e movimento, sons altos ou baixos, agudos e graves, entre outros, a determinados estados afetivos (UHRIG et al., 2016; PINILLA et al., 2020; DÓZIO et al., 2022). Um experimento recente onde ambientes virtuais distintos foram construídos a partir dessas ideias a fim de *elicit*²⁶ estados emocionais específicos nos participantes do estudo (fig. 36; fig. 37) se baseando no modelo emocional *Circumplex*, mostrou alta correspondência entre os estados reportados por eles e o pretendido pelos pesquisadores (PINILLA et al., 2021).

²⁶ Do inglês *elicitation* se refere ao processo de provocar ou evocar estados emocionais em um indivíduo, e pode ser feita através de imagens, vídeos, sons, e até mesmo descrições de eventos experienciados por outras pessoas podem ser usadas para elicitar emoções através da empatia. Emotion elicitation é o termo usado pela maioria dos autores ao tratar desse assunto. Disponível em: <<https://is.gd/2qVBBW>>

²⁷ Desenvolvido por Peter J. Lang em 1980, o SAM é usado para acessar o estado emocional de um indivíduo a partir de dois ou três das seguintes dimensões: valência, excitação e dominância. Foi proposta como alternativa mais simples e objetiva ao outro modelo de auto-avaliação mais usado na época, que se baseia na avaliação a partir de dezoito características. Disponível em: <<https://is.gd/XHIFjk>>.

O processo de aferição dos experimentos nessa área geralmente se dá através de formulários de auto-avaliação onde os participantes precisam classificar sua reação emocional a determinado estímulo a partir das dimensões de valência e excitação, sendo o *Self-Assessment Manikin*²⁷ (SAM; fig 38) o mais usado. Esses formulários são pictóricos e não verbais, a fim de diminuir possíveis vieses que interfiram no resultado. Embora o processo de auto-avaliação no reconhecimento de emoções tenha problemas e seja geralmente considerado ineficiente para reconhecimento a nível individual, devido a problemas como a possibilidade de omissão ou até mesmo de falsa interpretação por parte do participante, o uso de um número amostral grande que gera uma correspondência relevante, é geralmente entendido pelos pesquisadores como uma indicação da existência de padrões de elicitação (BRADLEY & LANG, 1994; EGGER et al., 2019; PINILLA et al., 2020).



Figura 36. Captura de tela de ambiente de realidade virtual construído para eliciar estados emocionais positivos com alta valência e alta excitação. Imagem disponível em: <<https://is.gd/fzUD7N>>.



Figura 37. Captura de tela de ambiente de realidade virtual construído para eliciar estados emocionais negativos com baixa valência e baixa excitação. Imagem disponível: <<https://is.gd/fzUD7N>>

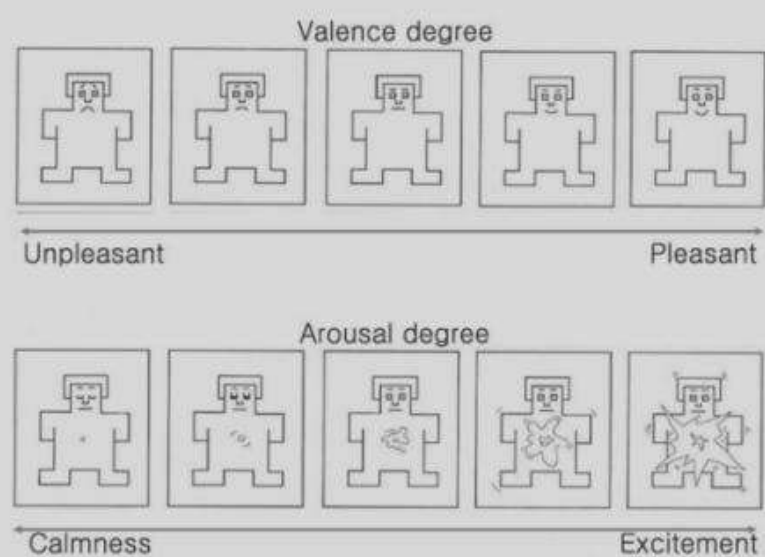


Figura 38. Self-Assessment Manikin (SAM). Escala de cinco pontos para avaliação de valência e excitação. Desenvolvido por Bradley e Lang(1994). Imagem disponível em: <<https://is.gd/BTC3fm>>

Esse tipo de experimento gerou uma série de bancos de dados onde diferentes elementos visuais e sonoros são classificados a partir de quais estados emocionais eles são capazes de elicitar de forma recorrente e confiável, com o *International Affective Pictures System* (IAPS)²⁸ (fig. 39) e o *International Affective Digital Sounds* (IADS), sendo os mais conhecidos (UHRIG et al., 2016; BRADLEY & LANG, 2017; WANG et al., 2022).

Esses bancos de mídia afetiva são importantes, pois é através deles que parâmetros de classificação de dados a partir de sensores fisiológicos para reconhecimento de emoções são usualmente estabelecidos. Em estudos focados em parametrização, imagens ou outro tipo de material afetivo são exibidos aos participantes enquanto seus sinais fisiológicos são registrados por um ou mais sensores. Os dados brutos são então analisados, processados²⁹ e organizados de acordo com os critérios do modelo emocional utilizado, como dados relacionados a valência (determinado padrão de ondas cerebrais detectada por sensores EEG, por exemplo) e excitação (como determinado nível de condutividade da pele detectado por sensores GRS) no caso do modelo Circumplex (EGGER et al., 2019; WANG et al., 2022).

Após esse processo, os dados são comparados aos valores de referência estabelecidos através dos formulários de auto-avaliação, e por fim, são usados para a construção de bancos de dados especificamente dedicados a sinais afetivos, sendo AMIGOS³⁰ um exemplo deles. No estágio final do processo (fig. 40), esses bancos de dados afetivos, por sua vez, são usados para o treinamento de algoritmos classificadores³¹, esses que serão responsáveis por realizar o reconhecimento das emoções (CORREA et al., 2017; EGGER et al., 2019; WANG et al., 2022).

²⁸ IAPS foi projetado pelo National Institute of Mental Health (NIMH) especialmente para experimentos científicos relacionados à emoção e atenção, sendo amplamente usado na área da psicologia. Por conta disso, o acesso geral às imagens é mantido apenas a pesquisadores, a fim de evitar exposição prévia de possíveis participantes dos estudos. Disponível em: <<https://is.gd/QDw4NP>>

²⁹ Referente a feature processing ou feature engineering, trata do processo de preparo de dados brutos para futuro uso em treinamento de algoritmo, onde os dados e informações relevantes para uma determinada análise são extraídos e posteriormente fornecidos para determinado algoritmo para fins de aprendizagem de máquina. Disponível em: <<https://is.gd/Z2b6wr>>

³⁰ AMIGOS (A dataset for Multimodal research of affect, personality traits and mood on Individuals and Groups) é uma das bases de dados afetivos mais recentes, contendo parâmetros para reconhecimento de emoções a partir de dados extraídos por sensores EEG, ECG e GSR. Disponível em: <<https://is.gd/8MJxMv>>

³¹ Algoritmos classificadores ou classifiers são responsáveis por discriminar e organizar dados em diferentes classes ou categorias, de acordo com um comando específico. Eles são capazes de aprender a reconhecer padrões a partir do treinamento feito através de dados previamente classificados, e aplicar seu conhecimento para classificar e padronizar outros conjuntos de dados. Disponível em: <<https://is.gd/fa9762>>



Figura 39. Exemplos de imagens do IAPS usadas para a eliciação de emoções. Imagem disponível em: < <https://is.gd/BTC3fm>>

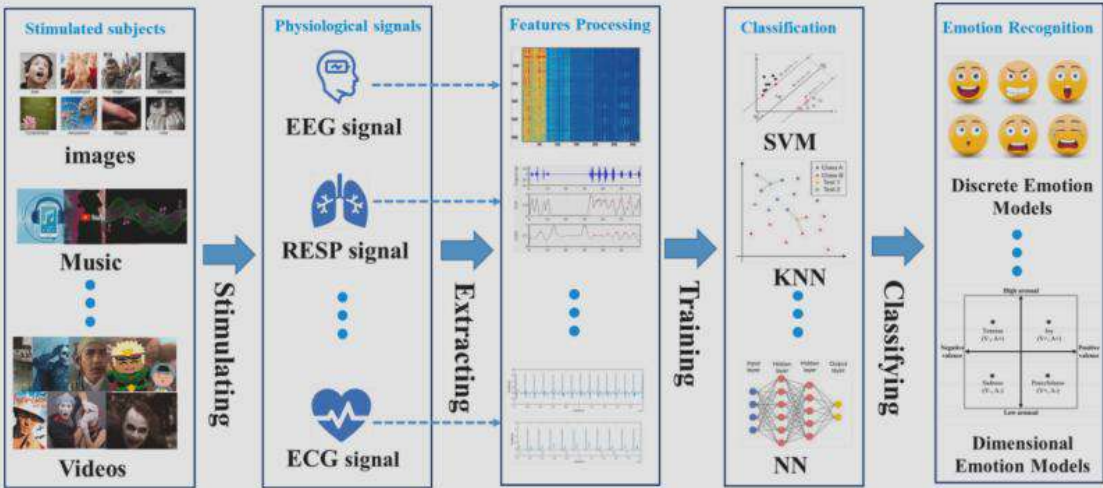


Figura 40. Diagrama representando o processo de reconhecimento de emoções a partir de sinais fisiológicos. Imagem disponível em: < <https://is.gd/u9m7A n>>

2.2

Computação Afetiva e Reconhecimento de Emoções na Arte

Embora os sensores fisiológicos sejam a principal base da computação afetiva, é importante notar que ela não é a única área que se baseia fortemente no uso desses sensores, sendo o campo do *biofeedback*, fortemente conectado com essas mesmas questões. Mas enquanto a computação afetiva utiliza esses dados como ponto inicial de análise para a identificação e o reconhecimento das emoções correspondentes aos sinais fisiológicos, o *biofeedback* foca em monitorar esses dados a fim de aumentar a percepção e a auto-regulação de um indivíduo a respeito de sua fisiologia, a partir do uso de *feedback* visual e auditivo, oferecendo assim uma tradução direta desses sinais, sem a intenção de identificar e reconhecer as emoções por trás deles (VASILYEV et al., 2019). Essa distinção é importante quando analisamos o histórico do uso de sensores fisiológicos em trabalhos de arte.

A incorporação de dados fisiológicos em trabalhos artísticos acontece desde os anos 60, com os primeiros experimentos sendo produzidos nas artes sonoras, muito antes da própria concepção da computação afetiva, e estando diretamente ligada ao desenvolvimento das técnicas de *biofeedback* na psicologia, com trabalhos proeminentes em artes visuais interativas sendo produzidos já na primeira metade dos anos 90 (KELOMEES et al., 2020). *Breath* de Ulrike Gabriel (1992; fig. 31), *Osmose* de Char Davies (1995; fig. 13) e *Heartscapes* de Diana Domingues (2005; fig. 16) são alguns exemplares dos primeiros trabalhos produzidos se utilizando de diferentes tipos de sensores.

Breath e *Osmose* se baseiam em sensores de respiração, com a primeira obra gerando composições gráficas a partir desses dados e as projetando em uma CAVE, enquanto a segunda os adiciona a dados de sensores de movimento e balanço para permitir a navegação do usuário na obra a partir deles, usando um *head-mounted display* como meio de exibição. *Heartscapes*, por sua vez, se baseia em sensores cardíacos, a partir dos quais são geradas imagens abstratas que remetem ao coração, expressando os batimentos e permitindo ao usuário a experiência de imersão nas imagens a partir de um *head-mounted display* e uma CAVE.

Desde então, diversos outros trabalhos baseados em sensores fisiológicos e *biofeedback* foram produzidos, incorporando outros elementos, diversificando as formas de visualização e gerando outros resultados estéticos. Como exemplos mais recentes é possível citar *Eunoia* de Lisa Park (2014; fig. 32), *Breathe* de Diego Galafassi (2020; fig. 33) e *Pulse Topology* de Rafael Lozano-Hemmer (2022; fig. 34). Lisa Park utiliza um sensor EEG conectado a alto-falantes em sua performance, fazendo com que as variações de som gerados diretamente por suas ondas cerebrais provoquem vibrações na água presente em diversos recipientes de metal espalhados pela sala. Já *Breathe* é uma obra de experiência coletiva baseada em sensores de respiração, onde os participantes conseguem visualizar a respiração uns dos outros através de dispositivos de realidade aumentada. *Pulse Topology*, por sua vez, permite a visualização da frequência cardíaca dos visitantes da instalação através de sensores cardíacos conectados a lâmpadas distribuídas pelo espaço expositivo.

Mas a grande questão é que, embora existam tantos trabalhos se utilizando de sensores e dados fisiológicos, poucos se focam em ativamente reconhecer e interpretar as emoções ligadas a eles, mesmo que vários deles citem emoção como motivação poética por trás do uso dos sensores, revelando assim um amplo potencial artístico ainda não explorado. Dos trabalhos que efetivamente se baseiam na computação afetiva e no reconhecimento de emoções, é possível citar *Secret Body* de Papazin, King, Enriquez & Puder (2015, fig. 35), *Mindswarm* do estúdio *Random Quark* (2016; fig. 36) e *Aura* do artista Nick Verstand (2017; fig. 37) como alguns dos poucos exemplos.



Figura 41. Performance *Eunoia* de Lisa Park (2014). Imagem disponível em: <<https://is.gd/W11ZLi>>



Figura 42. *Breathe* de Diego Galafassi (2020). Imagem disponível em: <<https://is.gd/XrQIVo>>



Figura 43. Instalação *Pulse Topology* de Rafael Lozano-Hemmer (2022). Imagem disponível em: <<https://is.gd/JEORDZ>>



Figura 44. Projeto *Secret Body* de Papazin, King, Enriquez & Puder, alunos da universidade de York (2015). Imagem disponível em: <<https://is.gd/Nsucs9>>

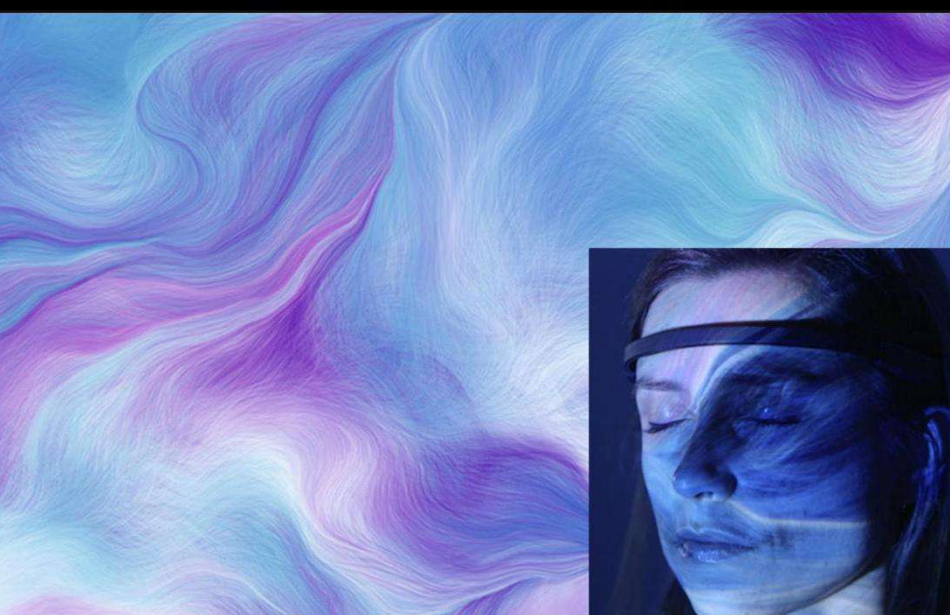


Figura 45. Projeto *Mindswarm* de Random Quark (2016). Imagem disponível em: <<https://is.gd/By0XJ5>>.



Figura 46. Instalação *Aura* de Nick Verstand (2017). Imagem disponível em: <<https://is.gd/0vet7k>>

Em *Secret Body*, os autores se baseiam no modelo *Circumplex*, e utilizam sensores GSR para medir excitação, e uma combinação de detecção de frequência cardíaca, temperatura, auto-avaliação e observação do indivíduo para medir valência, enquanto ele descreve uma experiência emocional pessoal. Esses dados são classificados por um algoritmo e mapeados em um manequim transparente simbolizando o torso do participante, com o estado emocional reconhecido sendo representado por diferentes cores retiradas da roda de Geneva, a partir da luz emitida pelos LEDs RGB posicionados dentro do manequim.

Mindswarm é um projeto encomendado pela empresa de bem-estar *Saatchi & Saatchi Wellness UK*, que queria um software capaz de criar pinturas abstratas a partir de emoções. Esse requisito foi atingido pelo estúdio Random Quark se fundamentando nas descrições de experiências afetivas, assim como *Secret Body*, mas usando sensores EEG como meio de detecção, coletando então padrões de ondas cerebrais em meio à narrativa do participante. Os dados coletados são logo fornecidos a algoritmos classificadores e generativos, que a partir dos parâmetros da roda de Geneva, são responsáveis pelo reconhecimento do estado afetivo, assim como pela criação de uma pintura abstrata digital formada por diferentes padrões de ondas e cores.

Aura, por sua vez, inspirada na série de instalações *Solid Light* de Anthony McCall (1973-), traz uma nova dimensão à proposta original ao incorporar o reconhecimento de emoções à obra. São usados sensores ECG, EEG e GSR para medir os dados, esses que são analisados por um algoritmo criado em colaboração do artista com a *Netherlands Organisation for Applied Scientific Research*. Os estados emocionais são reconhecidos e representados por feixes de luz de diferentes intensidades, formas e cores.

É interessante notar como as propostas têm bastante similaridades, como a elicitación do estado emocional por meio de experiências afetivas pessoais, ou a representação dos resultados a partir de cores, essa escolhida por todos eles. Embora os resultados estéticos gerados sejam distintos, eles não contemplam a enorme diversidade apresentada pelas obras baseadas em *biofeedback*, mostrando novamente o enorme potencial não explorado da computação afetiva para artistas.

Apesar dos poucos exemplares artísticos, a computação afetiva é muito bem representada no campo dos ambientes virtuais, com grande parte das pesquisas na área se utilizando deles para visualização e elicitación de emoções (SOMARATHNA, 2021) sendo assim um componente crucial e portanto uma ótima fonte de referências para produção de trabalhos artísticos em computação afetiva, dada a grande intersecção entre arte e ambientes virtuais, como visto no capítulo anterior.

Baseado nos temas discutidos nesses dois capítulos, além da adição de exemplos de ambientes virtuais que incorporam tecnologias de computação afetiva, o próximo capítulo trata do processo de produção de uma obra artística em ambiente virtual que busca a discussão da exploração do interior do corpo incorporada ao reconhecimento de emoções através de sensores fisiológicos.

3

TRABALHO PRÁTICO

A ideia para o trabalho prático surgiu a partir do meu interesse prévio em explorar uma estética abstrata baseada em formas orgânicas, inspiradas pela anatomia humana interna, formando assim imagens ambíguas que remetem a estruturas biológicas através de associações e semelhanças (fig. 47; fig. 48; fig. 49; fig. 50; fig. 51). Essas imagens foram criadas a partir da mescla entre diferentes tipos de imagens médicas, como as geradas por raio-x ou ultrassom, assim como imagens de microscopia, incluindo não apenas outros animais além dos humanos, como também estruturas vegetais, focando nas propriedades e indícios que as aproximam visualmente.

Além disso, minha experiência com modelagem 3D fez com que me interessasse em trazer essas características de trabalhos anteriores para um ambiente virtual, por conta de sua capacidade de gerar imersão, o que seria um interessante acréscimo a uma temática que trata diretamente de aspectos intrínsecos a nós e aos nossos corpos, mas com os quais não temos muito contato e não refletimos sobre habitualmente, sendo então capaz de gerar uma experiência única para os usuários. O uso de sensores biológicos foi, então, uma progressão lógica no que diz respeito à exploração do corpo, ao permitir extrair dados individuais que aprimorariam ainda mais a relação do usuário com a obra.

Além das minhas próprias imagens, algumas obras serviram como referências diretas para o desenvolvimento do trabalho, como *Heartscapes*, *Into Yourself*, *Nanoscapes*, *In Viscera* (fig. 16; fig. 23; fig. 28; fig. 29), mencionadas anteriormente no texto, servindo como inspiração para o estabelecimento de uma estética específica, e da decisão de quais elementos visuais seriam necessários para traduzir melhor o conceito explorado. Após estabelecidas as principais características a serem incluídas no trabalho, iniciei a construção do ambiente virtual.

O primeiro passo para a construção do ambiente virtual foi a modelagem do espaço, e para isso usei o software de modelagem 3D Blender. Criei uma forma tridimensional orgânica simples, mas ainda assim capaz de gerar a sensação de estar envolto em uma estrutura anatômica (fig. 52; fig. 53), seguindo assim a intenção inicial de provocar a impressão de estar presente no interior de um corpo. Como o objetivo do trabalho era que o ambiente reagisse aos dados extraídos pelos sensores, decidi usar um material procedural³² (fig. 54) no modelo por ele permitir uma maior gama de parâmetros a serem influenciados pelos inputs de dados. Com a base do ambiente finalizada, o próximo passo é a incorporação dos sensores.

³² Material procedural é um tipo de elemento gráfico criado através de descrições matemáticas (representações numéricas da imagem a ser produzida) ao invés de dados armazenados fisicamente, oferecendo assim potencial ilimitado de resolução e de modificação, consumindo poucos recursos computacionais. Disponível em: <<https://is.gd/iHvLMC>>



Figura 47. Fotomontagem sem título 1 (2022).
Imagem produzida pela autora.



Figura 48. Fotomontagem sem título 2 (2022).
Imagem produzida pela autora.

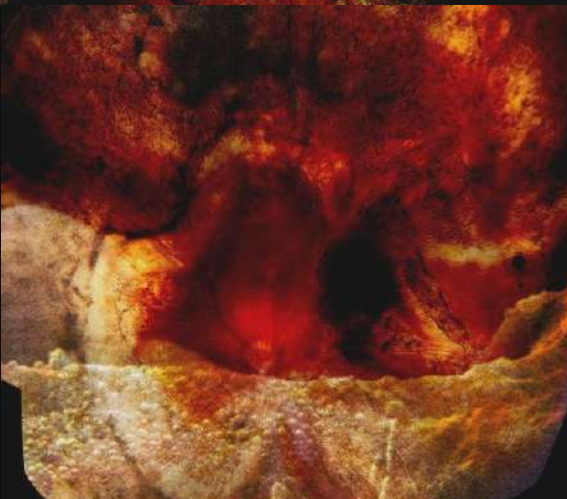


Figura 49. Fotomontagem sem título 3 (2022).
Imagem produzida pela autora.

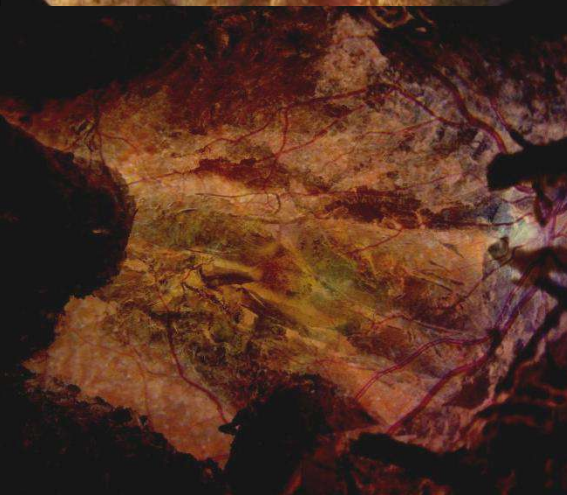


Figura 50. Fotomontagem sem título 4 (2022).
Imagem produzida pela autora.

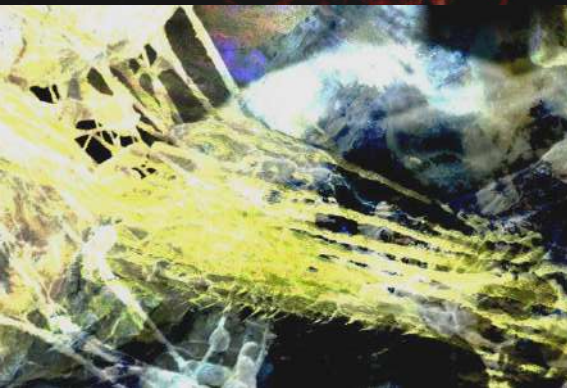


Figura 51. Fotomontagem sem título 5 (2022).
Imagem produzida pela autora.



Figura 52. Captura de tela da vista exterior do espaço virtual. Imagem produzida pela autora.



Figura 53. Captura de tela da vista interior do espaço virtual (2022). Imagem produzida pela autora.

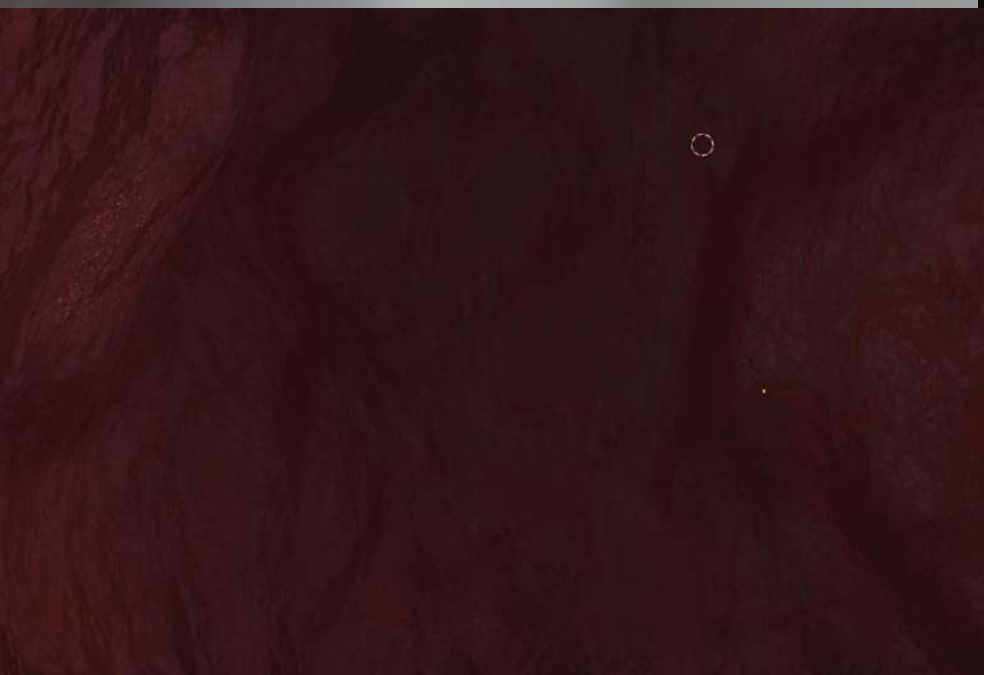


Figura 54. Captura de tela da vista interior do espaço virtual com material procedural aplicado (2022). Imagem produzida pela autora.

Incorporação dos Sensores

Para a incorporação dos sensores, inicialmente havia optado pelo uso de um sensor ECG (fig. 55) por ser acessível e possibilitar, sozinho, a identificação de diversos padrões de dados, permitindo então o reconhecimento de várias características emocionais com menos recursos. Mas após alguns testes, logo os problemas com o uso desse tipo de sensor se mostraram: por se tratar de um sensor elétrico, a interferência gerada por dispositivos eletrônicos próximos, além da movimentação do usuário, entre outros fatores, gera ruído, dificultando o processo da extração e filtragem dos dados do sensor.

Para evitar problemas com ruído, acabei migrando para o uso de um sensor PPG³³ (fig. 56), também um sensor cardíaco, que apesar de não permitir a mesma gama de inputs possíveis, seria mais estável durante a interação com a obra. Isso fez com que houvesse a necessidade da incorporação de outro sensor, com o sensor GSR³⁴ (fig. 57) sendo o escolhido. O uso dos dois sensores em conjunto permitiria, então, uma análise mais precisa do estado emocional do usuário.

O processo de leitura dos dados dos sensores se deu através da plataforma de prototipagem eletrônica *Arduino*, permitindo que os sinais detectados fossem recebidos e processados por um computador, através de uma IDE³⁵ (fig. 58). O processamento dos dados recebidos pelo *Arduino* se deu através de códigos disponibilizados pelas próprias fabricantes dos sensores, disponíveis nos apêndices do texto. Em seguida, parti para a incorporação de algoritmos classificadores que seriam responsáveis pelo reconhecimento de emoções, no que um outro problema se tornou aparente: os algoritmos disponíveis online³⁶ não permitiam a análise em tempo real, impossibilitando a realização do trabalho da forma proposta. Decidi, então, descartar o uso desses algoritmos, me focando nos elementos de *biofeedback* e identificação de *stress* oferecidos pelos sensores.

³³ Um sensor de fotopletismografia ou sensor PPG (do inglês *photoplethysmograph*), funciona através de uma técnica óptica ao invés de elétrica como o ECG, conseguindo determinar a frequência cardíaca a partir da medição das mudanças de absorção de luz na pele, detectando assim alterações no volume sanguíneo nos tecidos, utilizando LEDs ou luz infravermelho no dedo ou pulso. Disponível em: <<https://is.gd/2Mgx8u>>

³⁴ Informações sobre o sensor GSR estão disponíveis no segundo capítulo, página 27.

³⁵ Do inglês *integrated development environment* ou ambiente de desenvolvimento integrado, IDEs são programas de computador projetados para facilitar o desenvolvimento de códigos, aumentando a produtividade do programador, ao oferecer diversas ferramentas que diminuem a necessidade de configurações manuais repetitivas. *Arduino* possui sua própria IDE focada em simplificar o processo de programação dos microcontroladores. Disponível em: <<https://is.gd/11ZM7A>>

³⁶ Os algoritmos citados estão hospedados na plataforma GitHub, e podem ser acessados através dos seguintes endereços:
<<https://is.gd/F8qPHf>> ,
<<https://is.gd/HBMd7l>> ,
<<https://is.gd/dQldi7>> .



Figura 55. Sensor PPG conectado a um *Arduino*.
Imagem produzida pela autora.

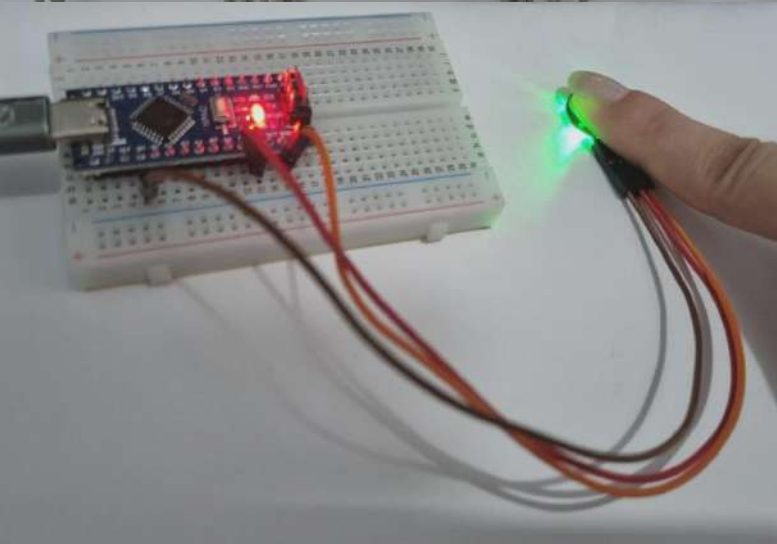


Figura 56. Sensor GSR conectado a um *Arduino*.
Imagem produzida pela autora.

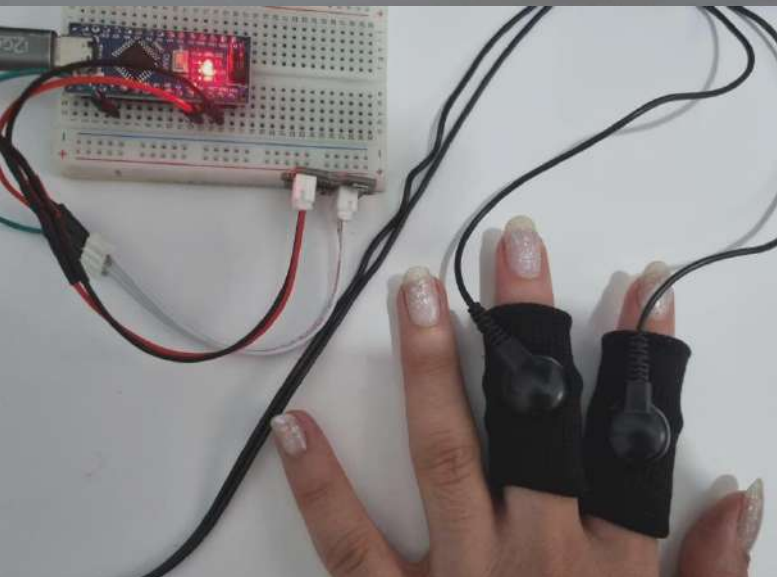


Figura 57. Sensor GSR conectado a um *Arduino*.
Imagem produzida pela autora.

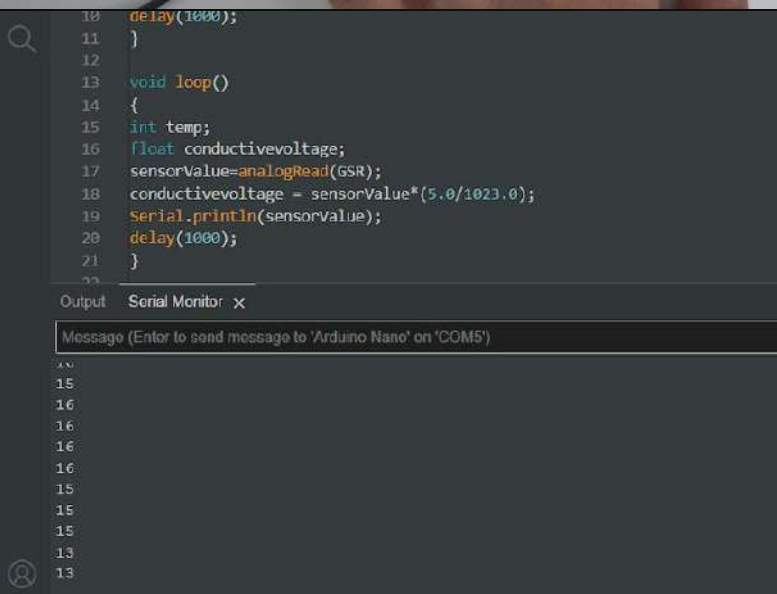


Figura 58. Recorte de captura de tela da interface da IDE do Arduino. Podemos ver os dados recebidos através dos sensores sendo registrados no monitor serial. Imagem produzida pela autora.

Nesse estágio, a próxima etapa seria estabelecer uma conexão entre o *Arduino* e o programa de modelagem, permitindo o compartilhamento de dados entre eles, o que ocorreu através do uso de comunicação serial³⁷. Com os dados já sendo recebidos pelo *Blender*, utilizei a linguagem de programação *Python*, suportada pelo programa, para coordenar a forma com que os inputs modificam o ambiente. Mas novamente um problema surgiu: *Python* não era compatível com a tarefa requerida, não conseguindo receber os dados em tempo real e promover as mudanças no ambiente ao mesmo tempo, exigindo pausas que afetariam a experiência do usuário, não permitindo uma interação fluida. Sendo assim, não seria possível continuar usando o *Blender* para a finalização do trabalho como planejado.

Esse empecilho me fez migrar para o *Unreal*, engine de criação de jogos que facilitaria o avanço do trabalho justamente por ser voltada ao desenvolvimento de mídia na qual o input do usuário é essencial. Além disso, *Unreal* é baseado em outra linguagem de programação, o C++, portanto não teria as mesmas limitações que o *Python* apresentava. Para isso, no entanto, seriam necessárias algumas alterações no modelo 3D criado, pois certas características não seriam compatíveis com o programa de destino ao serem exportadas.

Uma dessas características era o material procedural feito anteriormente, fazendo com que fosse necessária a substituição deste por um material PBR³⁸ (fig. 59). Logo no início do uso do novo programa, ficou claro que ele era o ideal para o desenvolvimento do trabalho, fornecendo diversas ferramentas que facilitariam muito o processo, como a possibilidade do uso de programação visual³⁹ (fig. 60), além de add-ons⁴⁰ de comunicação serial (fig. 61) e de comunicação com o *Blender* para transferência rápida de assets⁴¹ entre um programa e outro.

³⁷ Comunicação serial é o processo de transmissão de dados onde a informação é enviada bit por bit, sequencialmente, através de um canal de comunicação (nesse caso a porta USB, ou porta COM) no qual o microcontrolador está conectado, podendo essa informação então ser lida por outros programas de computador que tenham acesso a esse mesmo canal. Disponível em: <<https://is.gd/f1KWdbK>>

³⁸ Do inglês *physically based rendering* ou renderização baseada em física, PBR é um elemento de computação gráfica que busca renderizar imagens de forma a corresponder à ótica do mundo real, reproduzindo as propriedades visuais e a maneira com que a luz interage com as superfícies de diferentes materiais, através de imagens (conhecidas como "mapas") aplicadas ao modelo 3D. Disponível em: <<https://is.gd/qL873p>>.

³⁹ Programação visual trata de uma linguagem que permite que os usuários construam programas a partir da manipulação de elementos gráficos, ao invés de texto. Nessas linguagens, a construção do código se dá através de ícones que representam um determinado comando ou componente, que podem ser interconectados gerando uma sequência coesa, facilitando muito processo ao que não existe a necessidade de se ater a sintaxe textual, muitas vezes complexa, de uma linguagem específica, gerando assim uma experiência muito mais intuitiva ao usuário. Disponível em: <<https://is.gd/r95Bfl>>

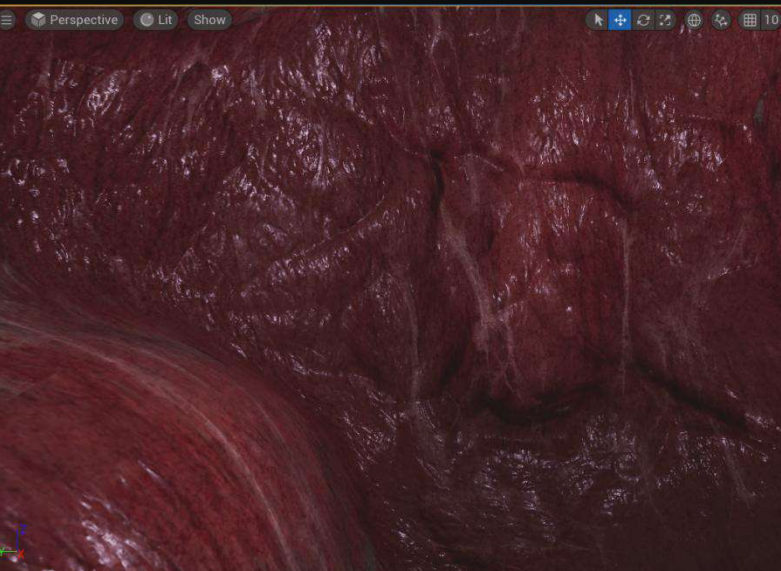


Figura 59. Captura de tela da vista interior do espaço virtual com material PBR aplicado. Imagem produzida pela autora.

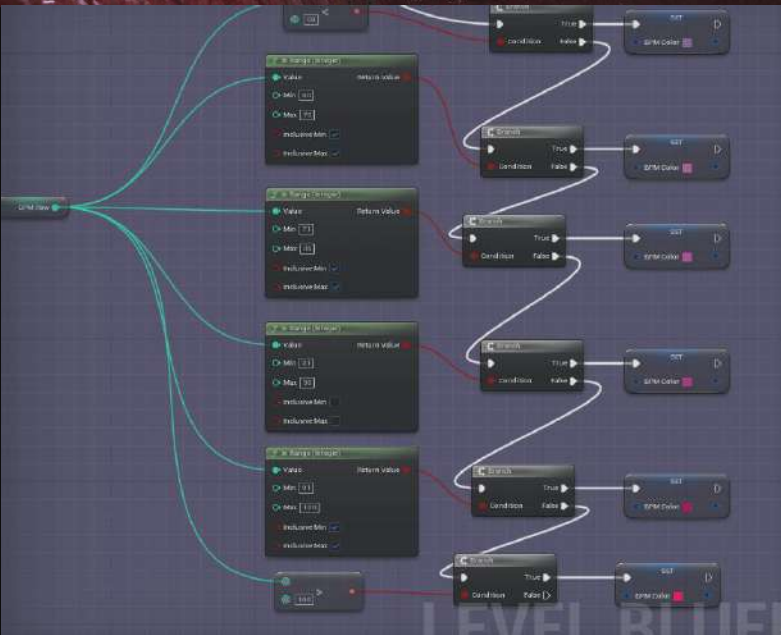


Figura 60. Recorte de captura de tela mostrando exemplo de programação visual. Imagem produzida pela autora.

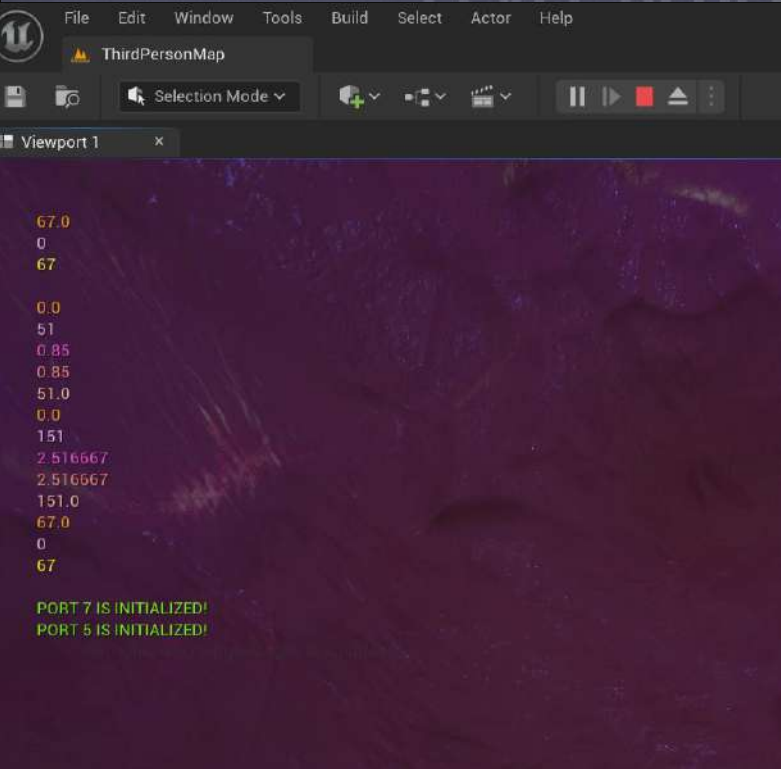


Figura 61. Recorte de tela mostrando a interface do software Unreal recebendo os dados dos sensores através de comunicação serial. Imagem produzida pela autora.

⁴⁰ Add-ons são ferramentas complementares que podem ser adicionadas a determinado programa de computador a fim de estender ou modificar as ferramentas nele disponíveis. Essas ferramentas podem ser criadas tanto pelos desenvolvedores originais do software, para oferecer elementos opcionais ao usuário, quanto por desenvolvedores externos interessados em resolver demandas próprias relativas ao uso desses programas. Disponível: <<https://is.gd/D7Yqxm>>

⁴¹ *Assets* são arquivos digitais contendo elementos gráficos que podem ser compartilhados entre diferentes programas. Esses arquivos podem conter modelos, materiais, animações, iluminação, entre outras características, promovendo a compatibilidade entre programas ao que podem ser salvos em diferentes formatos. Disponível em: <<https://is.gd/3n29rB>>

⁴² Uma amostra do ruído descrito está disponível no seguinte endereço: <<https://is.gd/cKtzZK>>

A última etapa, por fim, seria o estabelecimento de quais características seriam afetadas pelos inputs de dados. A escolha das mudanças estéticas provocadas pelos sensores foram estabelecidas, então, a partir da intenção de representar visualmente as faixas de variação apresentadas pelos diferentes usuários. Em relação a frequência cardíaca, a mudança estética escolhida foi uma escala de cores aplicada ao material do ambiente variando de uma tonalidade azulada e fria (representando as faixas mais baixas, abaixo de 60BPM), mudando gradativamente até chegar no vermelho (a partir dos 100BPM).

Além da representação por cor, a frequência cardíaca também foi representada através da incorporação de um movimento de pulsação no espaço, com uma animação cuja velocidade simula as contrações do coração do usuário (fig. 62; fig. 63), gerando assim uma forma rápida de identificação de como o trabalho funciona, visto que os batimentos são facilmente reconhecíveis.

Os níveis de *stress* coletadas pelo sensor GSR, então, foram representados a partir de ruídos, cujo volume e dissonância aumentam de acordo com os valores, numa escala de 0 a 1024, com as mudanças ocorrendo a cada 128 pontos, gerando então 8 níveis diferentes de leitura, e ruído que se tornam cada vez mais incômodos ao que o as medidas de *stress* aumentam, simbolizando o desconforto vinculado a esse estado emocional⁴². Após a finalização dessas etapas, o trabalho já estava apto para exibição, com os eventuais usuários podendo, então, se conectar aos sensores e visualizar os resultados da interação em um monitor (fig. 64).



Figura 58. Amostra de gif animado demonstrando o ambiente 3D reagindo à frequência cardíaca a 60BPM. Imagem produzida pela autora, disponível em: < <https://is.gd/6zbhjo> >



Figura 59. Amostra de gif animado demonstrando o ambiente 3D reagindo à frequência cardíaca a 100BPM. Imagem produzida pela autora, disponível em < <https://is.gd/hB9aY9> >



Figura 60. Renderização 3D representando o trabalho em um eventual espaço expositivo. Na imagem vemos um tótem branco contendo em seu interior o computador, os microcontroladores e os sensores, ao lado de uma usuária com um dos dedos conectado a um sensor, em frente a um monitor onde o ambiente virtual é. Cortesia de André Shalders. Melhor visualização disponível em: < <https://is.gd/V1IEYy> >

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como descrito no último capítulo, alguns obstáculos impediram que a produção do trabalho ocorresse de acordo com a intenção inicial, dos quais os mais significativos foram as dificuldades que me impossibilitaram de incorporar os algoritmos de reconhecimento de emoções ao ambiente virtual, rompendo a progressão correta do processo, fazendo com que o trabalho se encaixe menos no campo da computação afetiva, se alinhando mais ao biofeedback. Isso acabou reforçando a tendência que já havia sido discutida no texto, de uma escassez de trabalhos artísticos que se baseiam em computação afetiva, demonstrando que ainda é necessário um maior desenvolvimento na área para que essas tecnologias consigam ser aproveitadas livremente por artistas de forma mais fluida.

Mas mesmo não utilizando os algoritmos de reconhecimento de emoções, ainda considero o resultado final bem sucedido, já que o objetivo principal de agregar e demonstrar aspectos individuais do usuário, explorando os processos fisiológicos, estão contempladas, ao que o ambiente virtual é capaz de representar uma faceta emocional ao identificar os níveis de *stress*. Além disso, visto que o sensor GSR é uma ótima ferramenta para a medição de excitação (segundo o modelo Circumplex, citado anteriormente no texto), seria possível adicionar posteriormente algum mecanismo de identificação de valência, como o reconhecimento facial, por exemplo, fazendo com que a obra pudesse ser efetivamente categorizada como um exemplo da aplicação da computação afetiva de fato, numa possível iteração futura.

Outro ponto abordado na pesquisa, e que também acabou se confirmando no trabalho prático, foi o do grande potencial das engines de jogos para a produção de obras artísticas, com o Unreal se mostrando um software muito rico, oferecendo diversas ferramentas em uma interface intuitiva, com uma linguagem de programação de fácil aprendizagem, se mostrando uma excelente opção para os artistas interessados em trabalhos de arte baseados em computação gráfica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNELLO, F.; Avella, F.; Agnello, S. (2019). *Virtual Reality for Historical Architecture*. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W9, 9-16, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-2019-423-2019.**
- BILLINGHURST, Mark; Adrian Clark; Gun Lee (2015). *A Survey of Augmented Reality*. Foundations and Trends in Human-Computer Interaction: Vol. 8: No. 2-3, pp 73-272. DOI: 10.1561/11000000049.**
- BRADLEY, M.M. & LANG, P.J. (1994). *Measuring emotion: the Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential*. J Behav Ther Exp Psychiatry. 1994 Mar; 25(1):49-59. PMID: 7962581. DOI: 10.1016/0005-7916(94)90063-9.**
- BRADLEY, M.M. & LANG, P.J. (2017). *International Affective Picture System*. In: Zeigler-Hill, V., Shackelford, T. (eds) Encyclopedia of Personality and Individual Differences. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-28099-8_42-1.**
- CHAO, J. (2022). *3D Visual Art Design Method Based on Virtual Reality*. 2022 International Conference on Artificial Intelligence in Everything (AIE), Lefkosa, Cyprus, 2022, pp. 389-394. DOI: 10.1109/AIE57029.2022.00081.**
- CORREA, Juan; Khomami Abadi, Mojtaba; Sebe, Nicu; Patras, Ioannis. (2017). *AMIGOS: A dataset for Mood, personality and affect research on Individuals and Groups*. IEEE Transactions on Affective Computing. DOI: 10.1109/TAFFC.2018.2884461.**
- CUNNINGHAM, S.; Henry, J.; Weinel, J. (2020). *Augmenting Virtual Spaces: Affective Feedback in Computer Games*. Technology, Design and the Arts - Opportunities and Challenges. Springer Series on Cultural Computing. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-42097-0_13.**
- DAVIES, Char (2004). *Virtual Space*. In Space: In Science, Art and Society François Penz, Gregory Radick and Robert Howell, eds. Cambridge, England: Cambridge University Press, pp. 69-104, illus. Disponível em: <<https://shorturl.at/DGHLU>>.**
- DEWEY, John (1910). *How We Think*. Dover Publications, revised ed. edition: July 10, 1997. ISBN-13: 978-0486298955.**
- DOMINGUES, Diana; Cristiano J. Miosso; Suélia F. Rodrigues; Carla Silva Rocha Aguiar; Tiago F. Lucena; Mateus Miranda; Adson F. Rocha; Ramesh Raskar (2014). *Embodiments, Visualizations, and Immersion with Enactive Affective Systems*. The Engineering Reality of Virtual Reality. DOI: 10.1117/12.2042590.**
- DZEDZICKIS, A.; Kaklauskas, A.; Bucinskas, V. (2020). *Human Emotion Recognition: Review of Sensors and Methods*. Sensors 20, no. 3: 592. DOI: 10.3390/s20030592.**
- ELLIS, S. R. (1994). *What are virtual environments?*. IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 14, no. 1, pp. 17-22, Jan. 1994. DOI: 10.1109/38.250914.**

ELLIS, S.R. (1991). *Nature and Origins of Virtual Environments: A Bibliographical Essay*. Human-Computer Interaction: Toward the year 2000. Morgan Kaufmann Publishers Inc. DOI: 10.1016/0956-0521(91)90005-6.

EGGER, Maria; Ley, Matthias; Hanke, Sten. (2019). *Emotion Recognition from Physiological Signals: A Review*. AIT Austrian Institute of Technology GmbH. DOI: 10.1016/j.entcs.2019.04.009.

KEIL, J.; Edler, D; Schmitt, T. et al. (2021). *Creating Immersive Virtual Environments Based on Open Geospatial Data and Game Engines*. KN J. Cartogr. Geogr. Inf. 71, 53–65. DOI: 10.1007/s42489-020-00069-6.

KELOMEES, Raivo; Guljajeva, Varvara; Laas, Oliver; Montgomery, Sean (2020). *Aesthetic and User Experience in Biofeedback Art*. WHY SENTIENCE? 26th International Symposium on Electronic Art ISEA2020. Ed. Christine Ross, Chris Salter. Montreal: ISEA International, 837–842. Disponível em: <shorturl.at/jknP6>.

KAPRALOS, Bill; Collins, K.C; Uribe Quevedo, Alvaro. (2022). *Affective Computing: An Introduction to the Detection, Measurement, and Current Applications*. Advances in Artificial Intelligence-based Technologies (pp.25–43). DOI: 10.1007/978-3-030-80571-5_3.

LISETTI, C.L. *Affective computing*. Pattern Analysis & Applic 1, 71–73 (1998). DOI: 10.1007/BF01238028.

LUCENA, Junior Alberto (2001). *A Arte da Animação: Técnica e Estética Através da História*. Editora SENAC, São Paulo. ISBN-13: 978-8573592191.

LUM, H. C.; Elliott, L. J., Aqlan, F., & Zhao, R. (2020). *Virtual Reality: History, Applications, and Challenges for Human Factors Research*. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 64(1), 1263–1268. DOI: 10.1177/1071181320641300.

MORIE, Jacquelyn Ford (2007). *Performing in (Virtual) Spaces: Embodiment and Being in Virtual Environments*. International Journal of Performance Arts and Digital Media, Volume 3 Number 2 & 3. DOI: 10.1386/padm.3.2&3.123/1.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2003). *The Influence of Art and Design on Computer Science Research and Development*. Beyond Productivity: Information Technology, Innovation, and Creativity. (pp. 96–117). The National Academies Press. DOI: 10.17226/10671.

ORTONY, A.; Clore, G.; Collins, A. (1988) *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press. DOI: 10.1017/CBO9780511571299.

PALLAVICINI, Federica; Alessandro Pepe; Maria Eleonora Minissi (2019). *Gaming in Virtual Reality: What Changes in Terms of Usability, Emotional Response and Sense of Presence Compared to Non-Immersive Video Games?* Simul. Gaming 50, 2, 136–159. DOI: 10.1177/1046878119831420.

PARO, MR; Hersh, DS; Bulsara, KR. *History of Virtual Reality and Augmented Reality in Neurosurgical Training* (2022). World Neurosurg. Nov.167:37–43. DOI: 10.1016/j.wneu.2022.08.042.

PICARD, R.W. (1995). *Affective Computing*. M.I.T Media Laboratory Perceptual Computing Section Technical Report No. 321. Disponível em: <affect.media.mit.edu/pdfs/95.picard.pdf >.

PICARD, R.W. (2003). *Affective Computing: Challenges*. International Journal of Human-Computer Studies, Volume 59, Issues 1-2, July 2003, Pages 55-64. DOI: 10.1016/S1071-5819(03)00052-1.

PINILLA, Andres; Garcia, Jaime; Raffe, William; Voigt-Antons, Jan-Niklas; Spang, Robert; Möller, Sebastian. (2020). *Affective Visualization in Virtual Reality: An Integrative Review*. Frontiers in Virtual Reality. DOI: 10.3389/frvir.2021.630731.

PINILLA, Andres; Garcia, Jaime; Raffe, William; Voigt-Antons, Jan-Niklas; Möller, Sebastian. (2021). *Visual representation of emotions in Virtual Reality*. DOI: 10.31234/osf.io/9jguh.

PARO, MR; Hersh, DS; Bulsara, KR. *History of Virtual Reality and Augmented Reality in Neurosurgical Training* (2022). World Neurosurg. Nov.167:37-43. DOI: 10.1016/j.wneu.2022.08.042.

SOMARATHNA, R.; Bednarz, T; Mohammadi, G. (2022). *Virtual Reality for Emotion Elicitation – A Review*. In IEEE Transactions on Affective Computing. DOI: 10.1109/TAFFC.2022.3181053.

SCHROEDER, Ralph. (2008). *Defining Virtual Worlds and Virtual Environments*. Journal of Virtual Worlds Research; Vol 1, No 1: Virtual Worlds Research: Past, Present and Future. 1. DOI: 10.4101/jvwr.v1i1.294.

SURMAN, David. (2003). *CGI Animation: Pseudorealism, Perception and Possible Worlds*. MA Diss. University of Warwick. Disponível em: <<https://shorturl.at/DJL23>>.

VASILYEV, V., Borisov, V., Syskov, A. (2019). *Biofeedback Methodology: a Narrative Review*. International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), Novosibirsk, Russia, 2019, pp. 11-16, DOI: 10.1109/SIBIRCON48586.

WANG, Yan; Song, Wei; Tao, Wei; Liotta, Antonio; Yang, Dawei; Li, Xinlei; Gao, Shuyong; Sun, Yixuan; Ge, Weifeng; Zhang, Wenqiang. (2022). *A Systematic Review on Affective Computing: Emotion Models, Databases, and Recent Advances*. Information Fusion, Vol. 83-84, pp. 19-52. DOI: 10.1016/j.inffus.2022.03.009.

APÊNDICES

Apêndice A - Código de *Arduino* para sensor PPG.

```
/* Getting_BPM_to_Monitor prints the BPM to the Serial Monitor, using the
least lines of code and PulseSensor Library.
* Tutorial Webpage: https://pulsesensor.com/pages/getting-advanced
*
-----Use This Sketch To-----
1) Displays user's live and changing BPM, Beats Per Minute, in Arduino's
native Serial Monitor.
2) Print: "♥ A HeartBeat Happened !" when a beat is detected, live.
2) Learn about using a PulseSensor Library "Object".
4) Blinks the builtin LED with user's Heartbeat.
-----*/

#define USE_ARDUINO_INTERRUPTS true
// Set-up low-level interrupts for most accurate BPM math.
#include <PulseSensorPlayground.h>
// Includes the PulseSensorPlayground Library.

// Variables
const int PulseWire = 0;
// PulseSensor PURPLE WIRE connected to ANALOG PIN 0
const int LED = LED_BUILTIN;
// The on-board Arduino LED, close to PIN 13.
int Threshold = 550;
// Determine which Signal to "count as a beat" and which to ignore.

// Use the "Getting Started Project" to fine-tune Threshold Value beyond
default setting.
// Otherwise leave the default "550" value.

PulseSensorPlayground pulseSensor;
// Creates an instance of the PulseSensorPlayground object called
"pulseSensor"

void setup() {

    Serial.begin(9600);
    // For Serial Monitor
    // Configure the PulseSensor object, by assigning our variables to it.
    pulseSensor.analogInput(PulseWire);
    pulseSensor.blinkOnPulse(LED);
    //auto-magically blink Arduino's LED with heartbeat.
    pulseSensor.setThreshold(Threshold);
    // Double-check the "pulseSensor" object was created and "began" seeing a
    signal.
    if (pulseSensor.begin()) {
        Serial.println("0");
    }
    //This prints one time at Arduino power-up, or on Arduino reset.
}
```



```
void loop() {
```

Código do sensor GSR:

```
if (pulseSensor.sawStartOfBeat()) {  
  // Constantly test to see if "a beat happened".  
  int myBPM = pulseSensor.getBeatsPerMinute();  
  // Calls function on our pulseSensor object that returns BPM as an "int".  
  // "myBPM" hold this BPM value now.  
  // Print phrase "BPM: "  
  Serial.println(myBPM);  
  // Print the value inside of myBPM.  
}  
  
  delay(100);  
  // considered best practice in a simple sketch.  
}
```

Apêndice B - Código de *Arduino* para sensor GSR.

```
const int LED=13;  
const int GSR=A0;  
int sensorValue;  
  
void setup()  
{  
  Serial.begin(9600);  
  pinMode(LED,OUTPUT);  
  digitalWrite(LED,LOW);  
  delay(1000);  
}  
  
void loop()  
{  
  int temp;  
  float conductivevoltage;  
  sensorValue=analogRead(GSR);  
  conductivevoltage = sensorValue*(5.0/1023.0);  
  Serial.println(sensorValue);  
  delay(1000);  
}
```