



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CCTA – DEPARTAMENTO DE ARTES VISUAIS
PPGAV – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARTES

LAION ARTHUR OLIVEIRA CABRAL

Arte/Criação/Tecnologia:

Processos de evolução e análise entre ciberinterfaces com sistemas de biofeedback.

Dissertação apresentada ao Programa Associado de Pós-Graduação em Artes da Universidade Federal da Paraíba – UFPB – como requisito para obtenção de título de Mestre em Artes Visuais.

Área de concentração: Ensino em Artes Visuais.

Linha de pesquisa: História, Teoria e Processos de Criação em Artes Visuais.

João Pessoa
FEVEREIRO / 2019

LAION ARTHUR OLIVEIRA CABRAL

Arte/Criação/Tecnologia:

Processos de evolução e análise entre ciberinterfaces com sistemas de biofeedback.

Dissertação apresentada ao Programa Associado de Pós-Graduação em Artes da Universidade Federal da Paraíba – UFPB – como requisito para obtenção de título de Mestre em Artes Visuais.

Área de concentração: Ensino em Artes Visuais.

Linha de pesquisa: História, Teoria e Processos de Criação em Artes Visuais.

Orientadora: Prof. Dra. Maria Helena Mousinho Magalhães Pacheco.

João Pessoa
FEVEREIRO / 2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C117a Cabral, Laion Arthur Oliveira.

Arte/criação/tecnologia : processos de evolução e análise entre ciberinterfaces com sistemas de biofeedback. / Laion Arthur Oliveira Cabral. - João Pessoa, 2019.

112 f. : il.

Orientação: Maria Helena Mousinho Magalhães Pacheco.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCTA.

1. Arte - Tecnologia. 2. Cibernética. 3. Biofeedback. 4. Interdisciplinaridade. I. Pacheco, Maria Helena Mousinho Magalhães. II. Título.

UFPB/BC

CDU 7:004(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO



PROGRAMA ASSOCIADO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ARTES VISUAIS



LAION ARTHUR OLIVEIRA CABRAL

ARTE/CRIAÇÃO/TECNOLOGIA: PROCESSOS DE EVOLUÇÃO E ANÁLISE ENTRE
CIBERINTERFACES COM SISTEMAS DE BIOFEEDBACK

Aprovado em: 22 / 02 / 2019

Comissão Examinadora:

Prof.ª Dr.ª Maria Helena Mousinho Magalhaes Pacheco - UFPB
Orientador/Presidente

Prof. Dr. Robson Xavier da Costa – UFPB
Examinador Titular Interno

Prof.ª Dr.ª Laurita Ricardo De Salles – UFRN
Examinadora Titular Externa ao Programa

João Pessoa
FEVEREIRO / 2019

“If you want to find the secrets of the universe, think in terms of energy, frequency and vibration.”

Nikola Tesla

“Se você quiser descobrir os segredos do Universo, pense em termos de energia, frequência e vibração”.

Nikola Tesla

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram no decorrer desta jornada, em especial:

A Deus, a quem devo minha vida. Sem ele nada disso seria possível.

A minha família, singularmente a minha avó Risoleide, a meu Pai Israel, a minha Mãe Jeine e minha Irmã Layanne, por todo apoio e confiança na minha capacidade, assim como aos meus Padrinhos Olímpia e Neto Cabral, tios e tias, primos e primas. Assim sendo, essa conquista não é só minha, pois eles partilham dela comigo. A Larissa, por ser minha companheira, me encorajar e compreender nos momentos difíceis.

A minha Orientadora, Dr.^a Maria Helena Mousinho Magalhães Pacheco, que teve papel fundamental na elaboração deste trabalho, pela paciência e pela amizade construída no decorrer desse trabalho;

Ao PPGAV- UFPB e aos professores das disciplinas cursadas no Programa Associado de Pós-Graduação em Artes da Universidade Federal da Paraíba e Universidade Federal de Pernambuco.

Aos membros da banca, professores Maria Helena Magalhães, Robson Xavier da Costa e Laurita Salles.

A Dr.^a Laurita, que foi a primeira incentivadora e colaboradora desse estudo; à Dr.^a Katarina Leão e ao Dr. Ernesto Soares, que me mostraram novos horizontes e tornaram possível a realização dessa pesquisa junto ao Instituto Do Cérebro.

Aos meus amigos e colegas, pelo companheirismo e disponibilidade para me auxiliar em vários momentos tanto os ruins como os bons.

Às colaborações feitas durante esse tempo, que foram fundamentais para a concretização dessa dissertação em a Luiz Henrique que ajudou na programação do sistema.

Sendo assim, os méritos não são apenas meus, mas de todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse projeto.

A vocês, meu sincero obrigado!

RESUMO

Neste estudo investiguei a relação entre Arte e Tecnologia, com base na evolução de sistemas interativos. A pesquisa foi situada no âmbito de uma proposta contemporânea, enfocando o corpo como agente motivador. Observei as produções de trabalhos artísticos e reflexões associadas ao desenvolvimento de interfaces mistas com sistemas de *biofeedback*. Dessa maneira, utilizei métodos de captação de sinais biológicos do corpo humano, por meio de sensores e de processamento em tempo real. Para isso interagi com programas computacionais na expectativa de produção de imagens, obtidas com a captura de sinais cerebrais por um aparelho de Eletroencefalograma (EEG). Isso permitiu o desenvolvimento de uma interface cérebro máquina (ICM) gráfica, capaz de possibilitar ao usuário uma interação com as imagens virtuais por meio de seus sinais cerebrais. O foco deste estudo foi, portanto, a elaboração de uma plataforma (programa baseado em JAVA de código aberto) que possibilitou a experiência do usuário com experimentação do processo interativo. Também, foram estudados os tipos de sinais neurais mais utilizados nessas interfaces e tem-se como resultado a geração de formas visuais orgânicas baseadas nas figuras geométricas naturais (padrões Cimáticos e formas fractais), atribuindo-lhes novas concepções, movimentos e sensações. Este estudo, auxiliou no debate de conceitos e conhecimentos sobre arte digital e especialmente no desenvolvimento de projetos artísticos com ênfase poética em arte e tecnologia. A pesquisa foi orientada metodologicamente por procedimentos ancorados na Pesquisa Baseada em Artes (*Arts Based Research*), que informa um conjunto de pesquisas recentes com abordagens interdisciplinares, envolvendo artes, ciências e tecnologia.

Palavras-Chave: Arte e Tecnologia; cibernética; biofeedback; interdisciplinaridade.

ABSTRACT

In this study, I investigated the relationship between Art and Technology based on the evolution of interactive systems. The research is part of a contemporary proposal, focusing on the body as a motivating agent. It was observed the production of artistic works and reflections associated with the development of mixed interfaces with biofeedback systems. This way, methods of capturing biological signals from the human body were used through sensors and real-time processing. In this regard, I interacted with computer programs with the expectation of generating images obtained with the capture of brain signals by an electroencephalogram (EEG) device. This allowed the development of a graphical brain-machine interface (BMI), capable of enabling the user to interact with virtual images through their brain signals. Therefore, the focus of this study was the development of a platform (open source JAVA based program) that enabled the user experience through the experimentation of the interactive process. In addition, was studied the neural signal types most used in these interfaces and resulted in the generation of organic visual forms based on the natural geometric figures (Cymatics patterns and fractal forms), attributing them to new conceptions, movements, and sensations. This study helped in the concepts debate and knowledge about digital art and, especially, in the development of artistic projects with a poetic emphasis on art and technology. The research was methodologically oriented by procedures anchored in the Arts Based Research, which informs a set of recent research with interdisciplinary approaches involving arts, science, and technology.

Keywords: Art and Technology; cybernetics; biofeedback; interdisciplinarity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Biobodygame. Rachel Zuanon

Figura 02. Resultado final do sistema interativo.

Figura 03. Experimento de Ernst Chladni, padrões vibratórios.

Figura 04. Game *Everything* – Prix 2017.

Figura 05. *Physical Mind* – FILE 2017.

Figura 06. *XXXX.XXX (2014) Eine Skulptur, die WiFi-Daten erfasst. Transmediale 2017.*

Figura 07. Ricahrd Long – *Nomad Circle*, 1996. Hamish Fulton - *Walking On and Off the Path*, 2017.

Figura 08. “*Imponderabilia*,” 1977, Marina Abramović.

Figura 09. *Tropicália* – Hélio Oiticica, 1967.

Figura 10. *Arquiteturas biológicas* – Lúcia Clark, 1969.

Figura 11. Norbert Wiener, 1894 - 1964.

Figura 12. Óculos de realidade virtual (Vr Glass) e Luvas virtuais (Data Gloves).

Figura 13. *Third Arm* – Stelarc, 1982.

Figura 14. *Heartscapes* – Diana Domingues, 2005-2009.

Figura 15. Samsung Gear VR, 2015.

Figura 16. Mind Pool, 2012. Kiel Long.

Figura 17. Eunoia II, 2015. Lisa Park.

Figura 18. On Your Wavelength, 2015. Alex Anpilogov.

Figura 19. Dreamachine, 2014. Luciana Haill.

Figura 20. Emergence, 2010. Sean M. Montgomery.

Figura 21. BioBodyGame, desde 1998. Rachel Zuanon.

Figura 22. Biofeedback, desde 2011. Amy Karle.

Figura 23. Os lóbulos do cérebro Humano, Bear, 2008.

Figura 24. O córtex estriado, Bear, 2008.

Figura 25. Hans Berger e o primeiro registro de EGG, 1928.

Figura 26. Esquema de EEG, Bear, 2008.

Figura 27. EEG sinal regular e irregular, Bear, 2008.

Figura 28. EEG invasiva.

Figura 29. EEG Não-Invasiva, 2015

Figura 30. Nome do eletrodo em relação a sua região, 2012.

Figura 31. Sistema 10/20, 2012.

Figura 32. Sistema 10/20 – Distância entre eletrodos, 2012

Figura 33. Bandas de frequência de sinais de um EEG, 2012.

Figura 34. Bandas de frequência de sinais de um EEG, 2012.

Figura 35. Ritmo Delta

Figura 36. Ritmo Theta.

Figura 37. Ritmo Alfa.

Figura 38. Ritmo Beta.

Figura 39. Ritmo Gama.

Figura 40. Registro de ondas Mu.

Figura 41. Espectro de frequência de um EEG normal: bandas.

Figura 42. Exemplo de frequência de amostragem – teorema de Nyquist.

Figura 43. Esquema biofeedback.

Figura 44. Esquema retroalimentação cibernética.

Figura 45. Amplificador de sinal diferencial analógico de dois canais.

Figura 46. Possível aplicação de captação de sinais cerebrais pelo Arduino.

Figura 47. Raspberry Pi 3.

Figura 48. Programa Processing.

Figura 49. Amplificador de Sinais.

Figura 50. Fractal natural do floco de neve e de uma planta.

Figura 51. Par da Transformada de Fourier.

Figura 52. transformada de Fourier, imagem original e imagem transformada.

Figura 53. Transformada Inversa de Fourier, imagem original, transformada e Transformada Inversa.

Figura 54. Patch de teste com as interligações de caixas de comando no PD e imagens geradas.

Figura 55. Processing - Visualizador gráfico de som.

Figura 56. Amplificador Eletrofisiológico Engenharia Biomédica UFRN
Figura 57. Imagem aproximada dos canais de entrada do Amplificador

Figura 58. Amplificador Eletrofisiológico.

Figura 59. Amplificador de sinal com revestimento protetor.

Figura 60. Cabo P2-P2.

Figura 61. Eletrodos 3M.

Figura 62. Gel condutor.

Figura 63. Cabos blindados, soldados e plug jacaré

Figura 64. Tiara elástica, para fixar eletrodos no escalpo.

Figura 65. Primeiro teste com sistema funcionando.

Figura 66. Transformada de Fourier.

Figura 67. Esquema de processamento da ciberinterface.

Figura 68. Padrões Cimáticos notas musicais vibração em água.

Figura 69. Figuras de Chlandni.

Figura 70. Figuras ciberinterativas.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1. CAPÍTULO I – ARTE, TECNOLOGIA E CIÊNCIA	18
1.1 - ARTE E TECNOLOGIA	19
1.2 - CORPO-SUPORTE	26
1.3 - CORPO – MÁQUINA / CORPO BIOCIBERNÉTICO	34
1.4 - INTERFACE, INTERAÇÃO E IMERSÃO	43
1.4.1 – INTERFACE	45
1.4.2 – INTERAÇÃO E INTERATIVIDADE	46
1.4.3 – IMERSÃO	48
1.5 - DIÁLOGOS ENTRE ARTES, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA	51
2. CAPÍTULO II –BIOFEEDBACK, TÉCNICA DE ELETROENCEFALOGRAFIA, E OS SINAIS NEURAIS	60
2.1 – O CÉREBRO: ESTRUTURAS CORTICAIS	60
2.1 – O LOBO OCCIPITAL	62
2.2 – ELETROENCEFALOGRAFIA – EEG	63
2.2.1 – EEG INVASIVA	60
2.2.2 – EEG NÃO-INVASIVA	67
2.3 – O POSICIONAMENTO DOS ELETRODOS	68
2.4 – FREQUÊNCIAS DOS SINAIS NEURAIS (RITIMOS)	72
2.5 – PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS SINAIS	76
2.6 – <i>BIOFEEDBACK</i>	78
3. CAPÍTULO III - PROCESSOS PARA CRIAÇÃO DA CIBERINTERFACE	80
3.1 – <i>HARDWARES E SOFTWARES</i>	81
3.2 – SURGIMENTO DA <i>CIBERINTERFACE</i>	84
3.3 – CAPTAÇÃO DE SINAIS NEURAIS E MATERIAIS BÁSICOS PARA FUNCIONAMENTO DA INTERFACE	91

3.2.2 – RESULTADOS COM A PRODUÇÃO DE IMAGENS	96
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
5. REFERÊNCIAS	104
6. ANEXO 1 - CÓDIGO ABERTO DO PROGRAMA	108

GLOSSÁRIO

EEG – Eletroencefalograma

ECG - Eletrocardiografia

EEG – Eletroencefalografia

HZ – Hertz

ICE – Instituto do Cérebro

ICM – Interface Cérebro Máquina

IHM – Interface Humano Máquina

μ V - milionésimo de volt

PD – Pure Data

TF – Transformada de Fourier

TIF – Transformada Inversa de Fourier

T – Tempo

W – Frequência

P – Potência

INTRODUÇÃO

Em minha trajetória de vida, sempre fui atraído Arte e Tecnologias, ficção científica, programas computacionais, experiências científicas, de modo que a relação entre Arte/Ciência e Tecnologia sempre despertavam minha curiosidade. Na adolescência gostava de desmontar os aparelhos eletrônicos, vídeo cassete, ventilador, televisor e posteriormente os computadores. Os computadores nem sempre fizeram parte da minha vida, pois a minha família não tinha condições financeiras para obter uma máquina dessa, de fato, até o os anos 2000, essa tecnologia ainda era muito cara, e foi a partir desse momento que ela foi se tornando mais acessível. Dessa maneira, quando obtive o primeiro computador, fui em busca de cursos para aprender ainda mais sobre essa máquina tão curiosa, dentre esses cursos, descobri programas que trabalhavam com arte gráfica e me especializei nessa área, adentrando futuramente no mercado de trabalho como artista gráfico. Após alguns anos trabalhando em empresas, decidi prestar o vestibular para o curso de licenciatura em Artes Visuais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, pois sempre tive paixão pelas artes e fui aprovado no curso.

Durante o Curso de Artes Visuais, percebi que existia um leque de opções com as quais eu poderia trabalhar. Vários temas poderiam ser abordados e, a princípio, eu pensei em trabalhar com Desenho Computacional, visto que eu já tinha experiência profissional nesse segmento que aborda tecnologia, ferramenta que sempre me interessou e com a qual já havia pensado em trabalhar por muito tempo. Porém, esse tema (Desenho em Computador) não me satisfazia completamente e isso foi motivo de grande preocupação, pois eu não conseguia encontrar um tema que me agradasse plenamente. Então fui à procura de mais informações sobre esse segmento, buscando participar de projetos ligados à questão da Arte e Tecnologia, como o Projeto 10 Dimensões, que foi um dos contemplados no Edital CAPES/MINC PROGRAMA PRÓ-CULTURA – Programa de Apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica em Cultura. Busquei também por disciplinas em outros cursos para, assim, tentar integrar estudos de diferentes áreas que fossem relevantes para a realização de minha pesquisa.

Dessa maneira, surgiu o objeto de estudo da pesquisa da graduação que foi se revelando aos poucos, à medida que obtinha conhecimento em outras áreas, como quando comecei a participar de algumas disciplinas oferecidas pelo Instituto do Cérebro (ICE) da

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e que constavam como disciplinas optativas na grade do Curso de Artes Visuais, tais como: História da Neurociência - que foi uma introdução aos conceitos da Neurociência e na qual pude ver uma grande relação com as Artes, pois que a História da Neurociência foi bastante ilustrada por artistas; Neurocinema - disciplina que estreitou ainda mais essa relação com as Artes, pois abordava conceitos neurológicos da visão em relação ao cinema; e Técnicas Experimentais em Neurociência - disciplina que foi a mais importante para a escolha do foco da pesquisa, pois nela foram apresentadas várias técnicas da Neurociência, dentre elas a técnica de eletroencefalografia (EEG) que foi definitiva para o trabalho.

Isso posto e, sabendo que meu trabalho de graduação deveria ser feito em conjunto com outros departamentos (projeto interdepartamental), tornou-se necessária a união entre esses campos do conhecimento, uma vez que o que havia me inquietado, durante esse tempo, poderia ser respondido com os conceitos da Arte e Tecnologia em conjunto com a Neurociência. Ou seja, à medida que o projeto tomou forma, ele adquiriu características interdisciplinares.

Escolhido o campo Arte e Tecnologia, eis que surgiu a questão do tema específico que seria trabalho usando as técnicas e os conhecimentos aprendidos durante o curso. Dessa forma, conheci o projeto 10 Dimensões, que contemplou a realização de ciclos de discussões e debates, alternando entre as cidades de Natal (UFRN - IFRN) e João Pessoa (UFPB), foram realizados encontros com conferencistas de reconhecimento regional e nacional na área de Arte e Tecnologia, o que possibilitou acesso a um material *online* de repercussão das discussões: imagens, textos, fóruns de discussão e vídeos dos eventos. Esse material trouxe várias obras de artistas que trabalham com tecnologia, o que me possibilitou imergir de forma mais consistente nesse campo. A participação no projeto 10 Dimensões foi de suma importância para meu trabalho, pois nele pude conhecer o conceito de *biofeedback*, o que foi crucial para esta pesquisa, pela obra da artista Rachel Zuanon, “*Biobodygame*”, que é uma espécie de roupa com sensores que mapeiam todo o estado emocional do jogador e que lança para dentro do game todos os parâmetros monitorados naquele momento.



Figura 01. Biobodygame. Rachel Zuanon.
Fonte: <https://dezdimensoes.wordpress.com>

O conceito de *biofeedback* só ficou claro para mim quando, cursei a disciplina de Técnicas Experimentais em Neurociência, e tive a oportunidade de conhecer o Instituto do Cérebro - ICE, consequentemente, pude também conhecer alguns dos pesquisadores que lá trabalham, em particular o Dr. Ernesto Soares (que se tornou grande colaborador da pesquisa em questão), do laboratório de eletrofisiologia, que me apresentou sua pesquisa, na qual faz o estudo das propriedades dinâmicas de atividade eletroencefalograma (EEG) cortical sensorial, empregando ciclos de *feedback* rápidos. Quando conheci seu projeto, vi que poderia fazer uso desse sistema em meu trabalho de arte e tecnologia.

Por fim, o principal objetivo do trabalho foi alcançado, que era a criação de um trabalho interativo de arte e tecnologia, abordando a relação humano/máquina e explorando o uso de interfaces mistas. O trabalho consistiu na captação de ondas cerebrais através do EEG que serviram como “gatilho” para o funcionamento do sistema, as ondas cerebrais se modificam constantemente e dessa forma, interagem com imagens geométricas desenvolvidas no programa computacional *PureData*.



Figura 02. Resultado final do sistema interativo.

Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador, 2014.

A pesquisa aqui proposta é um desdobramento da monografia intitulada *Arte e Tecnologia: Processos criativos na construção de ciberinterfaces com dispositivos de biofeedback*, iniciada no ano de 2013 e finalizada no ano de 2015 para conclusão do Curso de Licenciatura em Artes Visuais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Tendo como prioridade o interesse nos processos criativos nas Artes Visuais e a relação de construção poética no decorrer dos processos interativos, nesta pesquisa, aprofundei a investigação acerca da Interface Humano/Máquina – IHM e a relação do corpo como suporte da arte. Busquei como principal objetivo a produção de imagens feitas a partir do sistema de biofeedback. A pesquisa foi orientada metodologicamente por procedimentos ancorados na *Arts Based Research*, que informa um conjunto de pesquisas recentes com abordagens interdisciplinares, envolvendo artes, ciências e tecnologia.

Adentrei ainda, no conceito de cibernética, visto que, segundo Norbert Wiener (1948), a cibernética é o conceito que analisa a comunicação e o controle entre diversos tipos de sistemas complexos como os IHM. Dentro desse panorama cibernético, onde existirá o controle de sistemas, cheguei ao conceito de *biofeedback*, que é um dos conceitos chaves desta pesquisa. Dessa maneira, explorei interfaces mistas para realizar a comunicação entre sistemas biológicos (corpo humano), maquínicos (amplificadores, computadores, sensores) e virtuais (projeções, programas computacionais), com ênfase principal na interação entre o cérebro e a máquina. E nesses processos situei o corpo como suporte artístico na contemporaneidade. Abordei aspectos gerais de conhecimento

em interfaces cérebro/máquina. Para tal, fiz o uso de programas computacionais e dispositivos de *biofeedback*, neste caso, dispositivos baseados em eletroencefalografia (EEG), este foi responsável pelo envio dos sinais transmitidos pelo cérebro. Assim sendo, esse sistema propiciou ao usuário interagir com imagens por meio de seus sinais neuronais.

O foco dessa pesquisa e a experiência do usuário no processo de interação. Para isso analisei os tipos de interface cérebro máquina (ICM) existentes, assim como, suas tecnologias anteriores até as mais atuais, tendo em vista suas especificidades e suas potencialidades para o estudo das artes visuais.

Estudei os tipos de sinais neurais mais utilizados nessas interfaces, porém, para esta pesquisa, o ponto de interesse foram os sinais do córtex visual, sendo esses os principais agentes para o funcionamento do sistema aqui proposto, analisei suas funções e características. Para o entendimento dos processos de criação e poéticas artísticas envolvidos nesse tipo de trabalho, pesquisei artistas nacionais e internacionais que trabalham com Arte/ Ciência/ Tecnologia e processos interativos, assim como suas obras.

Conceitos e definições da cibernética, mídia e estética digital também foram usados com o intuito de reforçar o entendimento sobre as formas de artes que usam computação. Também foram descritos os parâmetros e seus pré-requisitos para a construção e melhoria da ciberinterface aqui proposta, utilizando dispositivos que usam tecnologia baseada em eletroencefalografia não invasiva. Para a programação requerida no processo de interação, utilizei um *software* específico (*Processing*), que é responsável pela composição algorítmica aplicada nas animações da ciberinterface. Estudei, no âmbito das Artes/ Ciências e Tecnologia, para se chegar ao produto imagético, estudos de frequências e ressonância de Ernst Chladni e suas placas, padrões vibratórios, fractais, formas geométricas artificiais simulando as formas naturais.

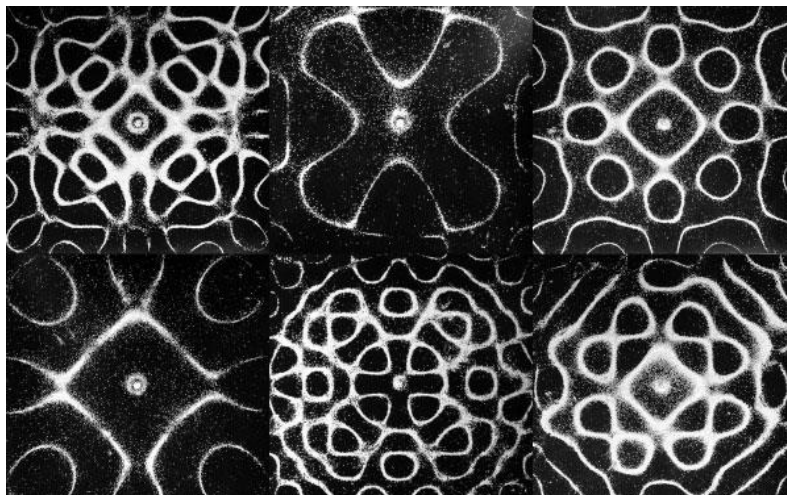


Figura 03. Experimento de Ernst Chladni, padrões vibratórios.

Fonte: <https://www.fatosdesconhecidos.com.br/e-possivel-ouvir-pelos-olhos-descubra/>, 2014.

Ao final do processo de desenvolvimento, fiz testes como o objetivo de contribuir para o diálogo produtivo e reflexivo no âmbito artístico. Ressalto que o presente estudo não tem como foco realizar estudos aprofundados com os conceitos de eletroencefalografia. A minha intenção foi conseguir fazer com que as frequências cerebrais dos usuários criem imagens e assim, apresentar de forma conceitual e prática o objeto de estudo: Ciberinterfaces e *biofeedback* facultada por meio de dispositivos baseados em eletroencefalografia no campo da Arte e Tecnologia.

A estrutura desta dissertação está dividida em três capítulos.

O capítulo 1 apresenta o estado da Arte no campo da Arte e Tecnologia, por meio de um panorama histórico de artistas e pesquisas que fizeram parte da construção dos processos interativos. Dessa maneira, apresento obras e artistas que serviram de referência para esta pesquisa, que trabalham com arte interativa. Abordei os conceitos sobre a relação do corpo como suporte da arte e a relação humano/máquina, assim como, os artistas que trabalham com os sistemas de ciberarte e *biofeedback*.

No capítulo 2 apresento os conceitos e as especificidades do estudo da técnica experimental de neurociências eletroencefalografia (EEG), baseado no referencial mais utilizado nos estudos desta área. E ainda, o conceito chave para essa pesquisa que é o *biofeedback*.

No capítulo 3 apresento a criação da ciberinterface e a produção das imagens criadas com a interação artística baseadas nas formas geométricas naturais (fractais,

Cimática). Mostro também, o sistema escolhido, os dispositivos e suas particularidades, assim como, os pré-requisitos para a funcionalidade desses dispositivos.

A investigação criação e melhoria da ciberinterface teve como foco a produção de imagens que foram feitas a partir dos sinais do córtex visual e sua interação com o programa desenvolvido por meio de algoritmos, sendo estas partes do sistema interativo de *biofeedback*.

O resultado dessas interações foram as formações de padrões visuais, feitos pelo usuário interator, em conjunto com os dispositivos físicos e virtuais, os quais geraram uma experiência multissensorial ao usuário, que teve seu próprio processo de criação para com o sistema. Além disso, procurei perceber a possibilidade do controle sobre o sistema por meio dos usuários, buscando assim, o conceito de neuroaprendizagem. Nas considerações finais foram discutidos os resultados obtidos, assim como, os futuros possíveis seguimentos desta pesquisa.

1. CAPÍTULO I – ARTE, TECNOLOGIA E CIÊNCIA

Evidenciei neste capítulo um breve panorama histórico sobre aspectos que relacionam Arte e Tecnologia, conceitos associados, interface e sobre o posicionamento do corpo e sua inserção neste contexto, bem como o surgimento da Arte e Tecnologia, e a correlação entre os conceitos da Arte, interface e o corpo como suporte. Ao analisar um certo percurso histórico desde o princípio do sec. XX, e os conceitos citados anteriormente que surgem no decorrer desse período, pude observar que as possibilidades de criação se expandem com o avanço crescente da tecnologia. No caso, observei que as interfaces possibilitam tipos diferenciados de suporte. De fato, essas “novas tecnologias” só permaneciam no imaginário visionário de histórias de ficção científica. Dessa maneira, certos avanços trouxeram novos significados a estética digital e, conseqüentemente, a novos modelos de criações poéticas artísticas.

Anteriormente, nos princípios do sec. XX, a estética digital era apenas vista como processos e sistemas para resolução de problemas lógicos. Em um novo contexto, ela passou a ser parte do processo artístico. Segundo Claudia Gianetti (2006), a prática e a teoria da arte/mídia e, especificamente, da arte interativa, permitem o entendimento de novas formas de expressões artísticas. Sendo assim, a autora afirma que:

Esse campo artístico parte de algumas premissas essenciais, que originam novas concepções: a reação contra a teoria estética centrada no objeto de arte e favorável à reflexão sobre o processo, o sistema e o contexto; a ampla interconexão entre as disciplinas; e, finalmente, uma redefinição dos papéis do autor e do observador. (GIANETTI, 2006, p.03).

A relação entre artes e a estética digital abrange uma larga área de atuação diretamente ligada ao contexto social, apresentando modelos artísticos ligados a vários conceitos multidisciplinares. Nesse sentido, o binômio arte e tecnologia tem oferecido modelos de realidades baseados na cooperação e na rede de indivíduos, numa abordagem entre sistemas cibernéticos complexos, que se constituem a partir de formas de comunicação e interação.

1.1 ARTE - CORPO - TECNOLOGIA

Com o advento do computador, as relações entre arte e tecnologia, têm um enfoque maior devido às novas possibilidades que essa tecnologia pode proporcionar, mas foi na exposição “*Cybernetic Serendipity*” (Londres, 1968), organizada por Max Bense e Jasia Reichardt, que se expõem, pela primeira vez, obras criadas com a ajuda do computador e onde se abre a polêmica: "pode o computador criar obras de arte?"; "as obras criadas com a ajuda da informática possuem um valor estético?".

Diante disto, houve uma grande repercussão devido ao “estranhamento” causado por esse tipo de Arte. Vários Artistas e críticos deram opiniões sobre o tema. Para Edmond Couchot (1997), estava emergindo uma arte visual nova, uma arte numérica e, por extensão, uma cultura fundada sobre o entrecruzamento do tecido das diferenças, não somente estéticas e éticas, mas também antropológicas e sociológicas, que não poupam pessoas nem diferenças culturais. Ou seja, esse é o momento de invenção de novas maneiras de se produzir Arte, pois esse avanço tecnológico, está relacionado diretamente com o mundo globalizado, voltado ao capital e ao consumo, que ao que parece o mundo passou a “abraçar” a tecnologia.

A relação entre arte e novas tecnologias surgiu no decorrer do século XX como uma abordagem contemporânea da Arte que faz uso das ferramentas tecnológicas. Segundo o pensamento de Cleomar Rocha (2013), a Arte e Tecnologia, antes de se configurar como uma vertente artística, sustenta sua gênese a partir de uma caracterização singular, que a distingue das demais formas de expressão artística. Sabendo-se que esse são questionamentos oriundos das mudanças socioculturais, essa arte causou certo estranhamento a priori, porém, com a presença da tecnologia no cotidiano, hoje essa arte está mais presente na vida das pessoas (imagens digitais, o computador, a internet, *smartphones* entre outras.) do que qualquer outra. Sendo assim,

a vertente tecnológica da arte - que também responde pelos nomes de arte tecnológica, arte digital, dentre outros, e engloba arte computacional, webart, netart, etc - esteve, na década de 1990, atrelada a vozes que defendiam a excepcionalidade da vertente, excluindo-a, por conseguinte, das demais artes (...) concluo que a arte tecnológica e suas derivações são tão exceções como o é toda a arte, portanto aportada no lastro incomum de sua ontologia. (ROCHA, 2013, p.49).

Antigos paradigmas (como o próprio suporte da arte) presentes até o modernismo se modificaram, as barreiras se quebraram, e conceitos como, por exemplo, a autoria, a propriedade, a participação, as novas relações entre autor e espectador foram questionadas e revistas. Dessa maneira, novos instrumentos, materiais e ferramentas tornaram-se elementos expressivos para criação artística. Houve assim, no decorrer de um conjunto de transformações relacionadas ao fazer artístico, mudanças do pensamento artístico em relação à tecnologia como ferramenta da Arte, inicialmente utilizada como elemento mediador no processo de desmaterialização da obra em tendências como arte conceitual, *land art*, etc, a tecnologia entra por meio da fotografia e do vídeo e foi se constituindo como ferramenta primordial na criação em outros entornos mais adiante como por exemplo *videoperformance* e *fotoperformance*. A partir de então, uma das singularidades que a diferenciava era quanto ao espectador da obra, o receptor (interator; coautor; usuário; agente fruído), passou a ser parte da construção do processo poético, visto que a obra só acontece quando o interator interage com a mesma.

De fato, a arte e os artistas foram em busca de novos anseios artísticos a partir da revolução da eletrônica. Esta foi a grande responsável por mudanças no pensamento e comportamento contemporâneos. Com o advento da informática, quase todos os segmentos do conhecimento passam pelas tecnologias: a educação, a arte, a ciência, as indústrias, entre outros, os quais usam de forma voraz os meios de informação, *marketing*, redes sociais, comércio digital, pesquisa, engenharia de *software* e vários outros meios de tecnologias, pois, no mundo globalizado, o consumo desse mercado é gigante. Conforme Diana Domingues (1997), a humanidade está marcada pelos desafios políticos, econômicos e sociais decorrentes das tecnologias. A arte tecnológica também assumiu essa relação direta com a vida, gerando produções que levam os seres humanos a repensarem a própria condição humana.

Os artistas, ao observarem as novas relações da humanidade com o mundo, demonstram em suas formas expressivas essas mudanças, depois da revolução tecnológica que colocou a humanidade diante da informática, da computação, da informação, do mercado de dados, da robótica, dos *smartphones*, da inteligência artificial, da neuroengenharia entre outros avanços que vem surgindo desde meados do século XX até os dias atuais. As mudanças que surgiram nessa nova realidade vão acompanhando

certas técnicas tradicionais da Arte. A pintura com tinta e pincel se deslocou muitas vezes para a pintura digital, com um *software* que simula e pode dar milhares de recursos e possibilidades ao artista. Essas práticas tornam evidente como a revolução eletrônica tem influenciado o meio artístico. Identifico uma crescente produção de artistas nas últimas décadas, que por meio dessas mudanças tecnológicas, assumem e têm consciência de seu papel como agentes transformadores da sociedade. Segundo Domingues (1997), para os artistas não interessa mais produzir apenas para um mercado oficial, e quase que isolado das Artes. Dessa maneira, a autora ainda ressalta:

Os artistas ligados a centros avançados de pesquisa, ou isoladamente, assumem a ruptura com a arte do passado num cenário dominado pela arte da participação, da interação, da comunicação planetária, colocando-se em novos circuitos não mais limitados à arte como objeto ou valor de culto, mas enfatizando, sobretudo, seu poder de comunicação. (DOMINGUES, 1997, p.17).

Essa visão de interatividade causa uma transferência do mundo material para o mundo virtual, típico da arte e tecnologia. Os artistas estão interessados em dispositivos interconectados sensores, interfaces mistas, placas, *chips*, internet, ondas cerebrais, bioengenharia. Essa Arte causa um estranhamento e, por conseguinte, questionamentos de qualificação desses artistas, devido à ruptura em um padrão de Arte estabelecido pelos espaços sagrados das galerias e museus. De acordo com o pensamento de Domingues (1997), esta arte partilhada com as máquinas entrou nas casas via satélite, telefones, oferecendo-se para ser recebida, modificada e devolvida. A autora ainda afirmou que:

São CD-ROMS, websites altamente ‘distribuíveis’, catálogos e revistas eletrônicos, trocas via rede; é o artista que assume a curadoria de seu próprio trabalho. Comunidades virtuais on-line reúnem indivíduos por afinidade, em que a arte também afirma sua liberdade. (DOMINGUES, 1997, p.18).

Nesse contexto de artista curador e libertário, devido às localizações de trabalhos no mundo virtual, observo em contrapartida uma aceitação muito maior por parte da sociedade artística da década de dois mil em diante, visto que a relação entre Arte, Ciência e Tecnologia está cada vez maior, o que fortalece ainda mais pesquisas nesses campos.

Assim sendo, vejo um cenário crescente em números de eventos que tem como foco principal a arte e tecnologia. Exemplifico abaixo algumas iniciativas que representam o panorama mencionado:

a) Prix Ars Electronica

Lançado em setembro de 1979, a Ars Electronica rapidamente se tornou uma história de sucesso reconhecida mundialmente. Arte, Tecnologia e Sociedade ainda é a filosofia desta plataforma única. Sua orientação específica é a continuidade a longo prazo.

O Prix Ars Electronica foi iniciado em 1987 pelo cofundador da Ars Electronica, Hannes Leopoldseder. As categorias da primeira hora foram computação gráfica, animação por computador e música por computador. Em 1990, a competição foi ampliada para incluir a categoria de Arte Interativa. Em 1998, outra edição destinada exclusivamente a crianças e adolescentes. Em 2004, a categoria Comunidades Digitais - Arte e Tecnologia foram premiadas em seguida. Em 2007, Art híbrido e 2014, o Prix Ars Electronica contou com as inovações mais recentes. Também foram premiados como visionários pioneiros de Media Art, os pares de categoria Arte híbrida, Música digital e Arte sonora, bem como Arte digital e Comunidades digitais, desde então, foram anunciados alternadamente.

Um dos vencedores do ano de 2017 foi o game “*EVERYTHING*”, que em tradução livre significa tudo. O game é uma experiência interativa em que tudo o que você vê é algo que você pode ser - desde animais até planetas para galáxias e além. O jogador pode viajar entre espaço exterior e interior e explorar um vasto e interconectado universo de coisas sem metas, partituras ou tarefas obrigatórias para completar.



Figura 04. Game *Everything* – Prix 2017.
Fonte: <http://prix2017.aec.at/prixwinner/23096/>.

b) FILE-Festival Internacional de Linguagem Eletrônica

O FILE é um festival de arte em novas mídias que acontece anualmente em São Paulo desde 2000 e eventualmente em algumas outras cidades do Brasil e do mundo.

É o maior festival de arte e tecnologia do Brasil, considerado o maior da América Latina e serve como indicador da pluralidade de pesquisas e de produções nacionais e internacionais nas múltiplas áreas da cultura digital: arte interativa, *screenings*, *performances*, games, arte sonora, realidade virtual, discussões teóricas e o cinema digital. O FILE é organizado por um grupo sem fins lucrativos, cuja intenção é disseminar e desenvolver cultura, artes, tecnologia e pesquisa científica. A entrada no evento é gratuita.

A obra vivencial “*Physical Mind*” é a tentativa do artista Teun Vonk (Holanda) de deixar os participantes e os observadores experimentarem de uma maneira diferente a relação entre o físico e o mental. Uma pessoa será convidada a se deitar entre dois objetos infláveis, sendo erguida e depois suavemente comprimida entre as curvas dos dois objetos. A obra explora a dualidade entre a sensação de estresse gerada pela instabilidade inicial em contraponto com o acolhimento provocado pelo contato com os infláveis.

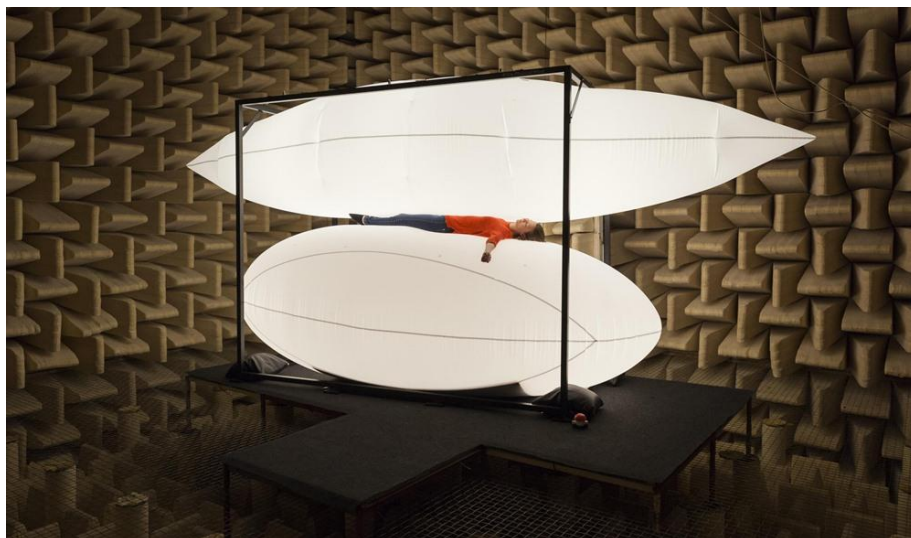


Figura 05. *Physical Mind* – FILE 2017.

Fonte: <http://file.org.br/wp-content/uploads/2017/10/file-brasil-physical-18-770x554.jpg>.

c) Transmediale

A Transmediale foi fundada como VideoFilmFest, em 1988. No decorrer de seus 30 anos de história, o festival mudou seu foco de vídeo para formas de arte baseadas em multimídia e evoluiu para uma plataforma internacional para arte e cultura digital. Na recolha de trabalhos, programa brochuras, publicações e material de documentação de cada edição do festival, o *Transmediale/arquivo* representa uma parcela substancial da história da mídia e da arte digital e contribui para o arquivamento da cultura de mídia experimental em Berlim e internacionalmente.

A escultura XXXX.XXX (2014), do artista Addie Wagenknecht, questiona a natureza sagrada da tecnologia re-contextualizando a hierarquia do sistema como um retrato de dados. Ele manifesta a nuvem, redes sociais, dados, vazamentos e o que forma o capital social em um único objeto. Em última análise, é uma experiência criativa sobre as estruturas de poder contemporâneas como um tipo de consciência grupal, tornando-se um mapa tridimensional da cultura de informação pós *Wikileaks*.

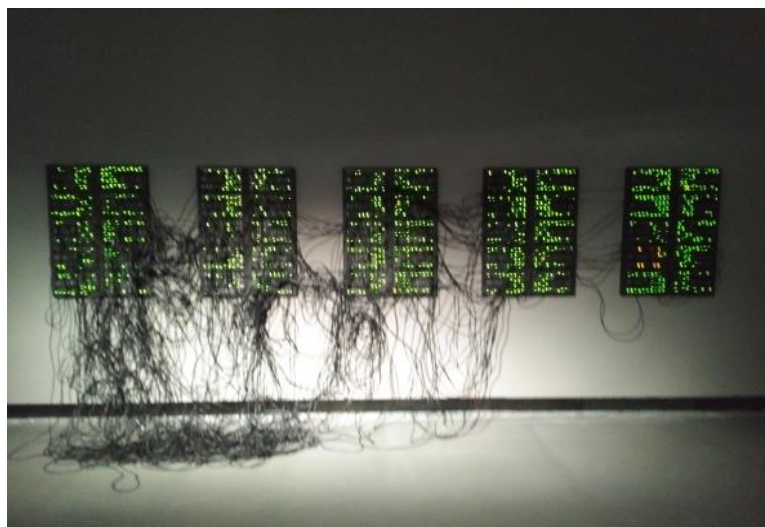


Figura 06. XXXX.XXX (2014) *Eine Skulptur, die WiFi-Daten erfasst*. Transmediale 2017.
 Fonte: https://cyberpunkjournalism.files.wordpress.com/2017/02/img_20170203_1345258.jpg.

Dessa maneira, observo que a arte e tecnologia vem ganhando espaço e atenção mundial, visto que as possibilidades de criação e pesquisa são muito amplas. Sei que o espaço é mais que bidimensional e tridimensional; ele agora passou a ser o cibernético, espaços virtuais, numéricos, não palpáveis; porém existentes. São espaços digitais. De acordo com o pensamento de Domingues (1997), “O papel, o fotograma sobre o celuloide, os muros da cidade deixam seu lugar para palhetas e menus eletrônicos, para a corrida

dos pontos luminosos, para o pixel que não se fixa na tela, para o som, para o fluxo de ondas”. Ressaltando ainda que:

A arte circula em satélites que conversam no céu, em modens que traduzem sinais sonoros em gráficos, instala-se em próteses eletrônicas para o corpo, em tradutores e sensores, em robôs que nos substituem, em sofisticados circuitos e sistemas computadorizados e nas telecomunicações. (DOMINGUES, 1997, p 17).

Por fim, após as reflexões trazidas aqui, observei que os procedimentos e métodos tecnológicos foram incorporados ao fazer artístico, o que se aproxima do meu trabalho e produção artística contemplados nesta dissertação.

1.2 O CORPO COMO SUPORTE

Por muito tempo os trabalhos artísticos geraram distanciamento do público, agora artistas trazem novas percepções do corpo por meio da arte. E nesse aspecto, torna-se fundamental situar o corpo como suporte artístico na arte para que possamos compreendê-lo adiante como mediador de procedimentos artísticos que fazem uso da tecnologia.

No decorrer da história, percebi uma relação estreita entre a Arte e o corpo. Ainda na Renascença, os artistas procuravam representar o corpo em suas obras, usando padrões de corpo ideal ou cânones relacionados. Em outros momentos anteriores e posteriores a Renascença, com propósitos distintos, artistas buscavam expressar por meio de formas, exageradas e distorcidas o corpo de diversas maneiras, explorando suas dimensões na escala física.

Pensando na utilização do corpo na primeira metade do século XX, nas ações dadaístas e futuristas posso vislumbrar as grandes mudanças que viriam pela frente. Percebo ainda, uma grande mudança desde o momento que o corpo deixa de ser representado como temas de figuras, pinturas, esculturas e passa a ser o próprio suporte da arte.

Entre os anos 1950 e 1970, Rosalind Krauss refletiu sobre a ampliação do campo da escultura ao observar as novas proposições artísticas que surgiram nos anos 1950. Em 1979, ela publicou um influente ensaio intitulado “*Sculpture in the Expanded Field*”, refutando os modelos de representação da escultura moderna, que envolvia a autonomia de sua representação com considerações sobre a dissociação do lugar em que a obra

estaria inserida. Em contraste a essa ideia, Krauss discutiu a ampliação de possibilidades de inserção da escultura, considerando o componente social e cultural implícito no lugar de colocação da obra. Ela apontou para a revisão do suporte da obra e o uso de materiais efêmeros. Dessa maneira, entre proposições artísticas na Land Art, a prática de caminhar transforma-se em escultura obliterando a sua materialidade e assumindo as marcas deixadas na paisagem, sendo essas produzidas pelo ato de caminhar de artistas britânicos como Richard Long e Hamish Fulton. Nesse sentido, a obra relaciona o corpo à ideia de passagem.

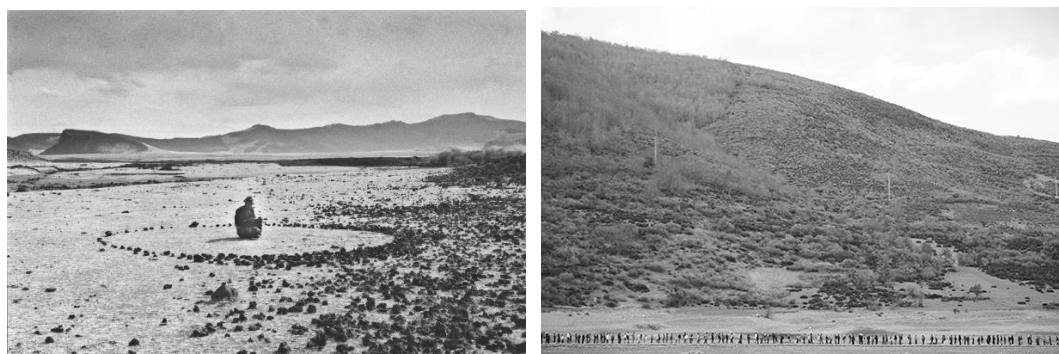


Figura 07. Ricahrd Long – *Nomad Circle*, 1996. Hamish Fulton - *Walking On and Off the Path*, 2017.
 Fonte: <http://www.richardlong.org> - <http://www.editorialconcreta.org>.

O Corpo na Arte Contemporânea propõe uma série de rotas por meio do campo expandido, identificando temas centrais para a produção, recepção e interpretação da arte, bem como os fenômenos culturais, políticos e filosóficos mais amplos. A partir daí vários artistas elegeram o corpo como suporte da sua arte e, em muitos casos, o próprio corpo e não um outro corpo como matéria e suporte da sua atividade criativa. A ideia é utilizar o corpo como matéria prima, explorando suas capacidades, mas também incorporar outros aspectos individuais e sociais.

Tal empenho proliferou da década de Cinquenta em diante, com mais ou menos intensidade e, nos últimos anos, a arte, com o corpo presente e ativo, retornou com vigor na cena artística e vive de forma intensa nos dias atuais. Como observa Sally O'Reilly, “(...) o corpo é hoje considerado por sua fragilidade e sua visceralidade, como um meio de expressão poderoso da experiência vivida, bem como um meio de investigação formal e estética” (2010, p. 8).

Certos meios de utilização do corpo ficam mais presentes quando os artistas usam seus corpos como propostas artísticas, nas *performances*, e na *body art*.



Figura 08. “*Imponderabilia*,” 1977, Marina Abramović.
 Fonte: <https://glasstire.com/2012/08/31/marina-abramovic-the-artist-is-present/>.

A *body art* possui um caráter peculiar, por ser uma atividade artística que retirava o caráter “imaculado” do corpo e o atingia de forma invasiva, quando os artistas começavam a fazer incisões, perfurações, implantes biomecânicos, onde se modificava a estrutura do corpo. Segundo Diana Domingues,

[...] numa perspectiva histórica, a arte do século passado tem manifestações como as da *body art* que fazem com que muitos artistas, à sua maneira, evidenciem o envolvimento do corpo, de forma mais ou menos radical, em todas as formas de performances e happenings que se assentam na expressividade do corpo como linguagem. Nos antecedentes não se pode deixar também de mencionar contribuições marcantes, como Pollock, Yves Klein, os brasileiros Hélio Oiticica e Ligia Clark. (DOMINGUES, 2002, p. 62)

Como ponto de convergência, o conceito de “não-objeto” de Ferreira Gullar (1959), que visa em geral, especificar a subversão estética que a experiência Neoconcreta representaria frente aos limites sensoriais das artes figurativas no final dos anos Cinquenta, os articula na superação de uma arte representacional para uma experiência vivencial centrada no corpo. A intenção dessa linguagem artística era a “quebra da moldura”, a ruptura do convencional e a participação ativa do espectador. O espectador vira co-autor das obras e manifesta seu significado poético nesse ato interativo.

Em meados de 1960, as propostas com “ambientes” e a “participação do espectador” se tornam mais frequentes no meio artístico. Os ambientes artísticos são considerados espaços de encontro entre as partes materiais e subjetivas que levam o espectador a adentrar no pensamento sobre os trabalhos. Quando esses ambientes requerem a participação do espectador, a obra passou a ter outro impacto, pois nesse contexto ela busca a parte sensorial e perceptiva do espectador, essa percepção acarreta a co-criação por parte do espectador que, nesse ponto de vista, agora faz parte da obra. Esse pensamento está em consonância com o conceito de autopoiesis que, segundo Maturana e Varela (2010), “é o processo pelo qual um ser vivo atinge sua autorregeneração, ou ainda sua autocriação”, pois os “seres vivos diferentes se distinguem porque têm estruturas distintas, mas são iguais em organização”. Do mesmo modo, os autores, acrescentam:

O que lhes é peculiar é que sua organização é tal que seu único produto são eles mesmos. Donde se conclui que não há separação entre produtor e produto. O ser e fazer de uma unidade autopoietica são inseparáveis, e isso constitui seu modo específico de organização. (MATURANA; VARELA, 2001, p.57)

Nessa perspectiva, Maturana e Varela (1997) argumentaram que o ser humano é um sistema que define, constrói e modifica sua própria organização a partir de seu comportamento e suas ideias, sendo autoconsistente e autopoietico. Podemos, então, traçar analogias com sistemas biológicos, como células - que produzem internamente seus componentes, mas, no caso específico do ser humano, tratamos da biologia da cognição e, portanto, do campo dos pensamentos.

Dessa maneira, é nesse momento de ambientações interativas, que todo o circuito da arte entra em uma tendência geral, com criações desse formato em dança, teatro, poesia, artes etc. E assim, a participação do público deixa de ser apenas contemplativa e seu caráter co-criativo torna-se algo constante nas Artes. A obra desmaterializa-se e a atividade criativa, de modo geral, torna-se Transdisciplinar.

Nesses ambientes, é o corpo do espectador que está inserido na obra, além somente do seu olhar. Nesse modelo artístico, o objeto não é mais o centro das atenções, o que importa é a interação do espectador com o ambiente e seu processo de criação quanto ao mesmo. O artista está trabalhando com o público diretamente e essas ações, feitas no

momento interativo, tornam-se a obra e a poética visual. Essa busca do sensorial fica ainda mais clara, por exemplo, nas obras denominadas “Penetráveis”, de Hélio Oiticica (1939 – 1980), que buscava a relação do espectador com a obra de arte e seus labirintos, feitos de diversos materiais e texturas (areia, asfalto, terra, água, tecido, cordas, plantas, etc), que deviam ser percorridos gerando experiências sensoriais.

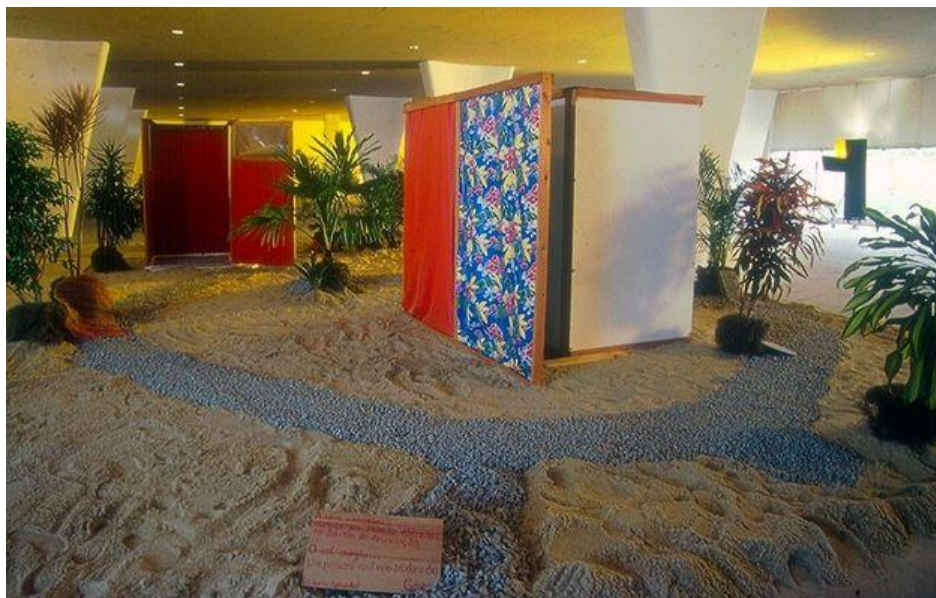


Figura 09. *Tropicália* – Hélio Oiticica, 1967.

Fonte: http://obviousmag.org/my_cup_of_tea/2015/03/arte-brasileira---antropologia-cultural-e-o-movimento-tropicalista.html

Como descreve o artista: "o ambiente criado era obviamente tropical, como num fundo de chácara e, o mais importante, havia a sensação de que se estaria de novo pisando na terra. Esta sensação sentira eu anteriormente ao caminhar pelos morros, pela favela, e mesmo o percurso de entrar, sair, dobrar pelas 'quebradas' de tropicália, lembra muito as caminhadas pelo morro". Sua proposta é uma arte que busca uma abertura ao participante e do participante, por meio de experiências que promovem uma volta do sujeito a si mesmo, redescobrimo e libertando-se de seus condicionamentos éticos e estéticos, impelindo-o a um estado criativo em uma vivência sensorial.

Para compreender essa estética, deve-se perceber o que seria uma experiência mais completa, o uso de um sentido (apenas visual) ou o uso de vários sentidos (multissensorial). Com a interação nessas obras, todos os sentidos são usados e torna a experiência mais real. A obra *Arquiteturas Biológicas* de Clark propõe exatamente essa

experimentação que usou o corpo como arte e integrou arte e vida, incorporando a criatividade do outro e dando ao público o suporte para que se exprima.



Figura 10. *Arquiteturas biológicas* – Lígia Clark, 1969.

Fonte: <http://multissenso.blogspot.com.br/2009/11/linguagens-multissensoriais.html>

Segundo a Artista: “O corpo, na experiência das Arquiteturas Biológicas é o núcleo de uma arquitetura celular. Nela, o gesto é o cerne da formação das células; é o corpo que se comunica, que se relaciona com outros conformando um tecido celular, uma arquitetura viva, que existe enquanto existe a experiência da manifestação coletiva. Para a artista, o habitar torna-se o equivalente do comunicar, ou relacionar-se. O corpo e suas potenciais relações é a chave do espaço topológico, espaço-estrutura relacional, conformado por elementos relacionáveis e redes de relações.”

Com o advento tecnológico e sua correlação entre Arte/Corpo/Suporte. A arte digital propõe uma exploração mais profunda desse corpo, que possui uma relação íntima. Arte e tecnologia podem construir uma relação de redescoberta entre o interator e seu corpo, tirando-o do papel passivo e o colocando frente a diferentes percepções. As artes participativas sucedem as artes interativas e a participação pela interatividade, só que, desta vez, foi incorporado mais um dado: a questão das interfaces técnicas com a noção de programa. Visto que,

A arte não demorou para exercer sua força neste contexto. As instalações interativas e, principalmente, a imersão em ambientes de realidade virtual, realidade aumentada e virtualidade aumentada são os maiores exemplos de como a arte busca, via interfaces, singularizar uma tarefa, tornando-a uma experiência sensível, uma experiência estética. (ROCHA, 2010, p.1141).

As interatividades multissensoriais se convergem e realimentam as relações entre arte e tecnologia. Os artistas exploram dados, percepções cognitivas, meios computacionais e interfaces mistas para ampliar os processos de interação. A telepresença, a comunicação por meios virtuais com interfaces interativas, os cenários compartilhados na rede *web*, a criação em conjunto partilhada e melhorada por usuários dos sistemas, os coletivos de arte e tecnologia que usam o conceito de “CiberArtivismo”, todos esses estão preocupados com os problemas nos âmbitos socioculturais, na política, no mundo globalizado, diretamente ligado aos avanços tecnológicos.

Os meios interativos usados de maneira compartilhada entre usuários e interfaces computacionais, produzidos pelos artistas, ocasionam criações baseadas na troca de informações, na participação colaborativa, co-criativa e inovadora. A questão multissensorial fica evidente nesses avanços tecnológicos, quando o usuário se envolve com vários meios, códigos, linguagens, interfaces mistas, que colocam novas perspectivas e novos meios de atuação no campo físico/virtual.

As interfaces computacionais suscitam, cada vez mais, o envolvimento e a atenção dos usuários para a realização das mais diversas tarefas. Como pressuposto para tornar a ação uma experiência, as interfaces se tornam mais e mais complexas, deixando a noção já clássica de base gráfica, alcançando para além das telas, em projeções, sensores, sons estéreos e demais artifícios que envolvam cada vez mais o usuário, em condições naturais de contato. (ROCHA, 2010, p. 1143).

A partir dessas considerações, percebi um uso recorrente do corpo pelos artistas e isso sempre reverbera com o que acontece na sociedade e na contemporaneidade, a tecnologia é o que se põe em evidência perante o corpo. Posso atrelar o significado de extensão corporal a aparelhos como um simples óculos para melhoria da visão, até os *smartphones* que estão tão presentes, que se tornam parte “complementar” de nosso corpo, além das próteses e aparelhos (chips) que podem ser acoplados ao corpo para comodidade do usuário.

Vejo que o progresso tecnológico e seus avanços estão a cada dia mais presentes na vida cotidiana, as tecnologias se adaptam para saciar nossas necessidades, ficando cada vez mais próximas de nossos corpos. Segundo Lucia Santaella (2003, p. 66), as transformações ocorridas na arte contemporânea surgiram a partir do momento em que as tecnologias começam a invadir nossos corpos,

[...] no momento mesmo em que, na trajetória da arte do século XX, a exploração do corpo do artista reduzido a si mesmo atingiu o seu limite, o seu ponto de saturação, no final dos anos 1970, uma outra grande transformação na relação do artista com o corpo, não apenas seu próprio corpo, mas o corpo em geral, começou a se insinuar com o advento das tecnologias computacionais, da engenharia molecular, da explosão das tele-redes de informação e comunicação e das nanotecnologias. (SANTAELLA, 2003, p.66).

As novas tecnologias que surgiram no decorrer dos anos 1980 e 1990 ocasionaram novas percepções e novas sensibilidades na sociedade pós-moderna, além disso, novos horizontes se mostraram em relação ao tempo e espaço, assim como as noções de interação, espectador, autor e a relação do corpo com a arte. Os meios de criação com suporte tecnológico ficaram cada vez mais interessantes aos artistas que viam possibilidades de produção artística.

Segundo Diana Domingues (2009), o advento da internet e a popularização do computador, especialmente a partir dos anos 1990, possibilitaram novos meios de experimentação no campo das artes, pois as novas linguagens que surgiram, desafiavam os conceitos que eram conhecidos no circuito artístico, colocando em xeque as definições de arte e suas classificações. Nesse período, apareceram as ciberinstalações, ambientes imersivos, sistemas multiusuários, arte transgênica e outras propostas estéticas que demonstraram os reflexos dessas tecnologias inseridas na sociedade, partindo do mesmo ponto de vista, na tentativa de aproximação da arte com o mundo, com o corpo, a natureza, a realidade urbana.

As pesquisas que surgiram no contexto da arte e tecnologia refletem sobre a ideia de sistema, de processo, de contexto, reagindo contra a teoria estética centrada no objeto da arte, demonstrando, sobretudo, uma ampla interdisciplinaridade e a tentativa de redefinição das funções do autor, do observador e da obra. Entendo que a arte e tecnologia como uma manifestação integrante ao contexto da criação artística contemporânea, no

qual artistas procuram colocar em evidência novas relações do corpo humano com a obra de arte (DOMINGUES, 2009).

Partindo das possibilidades exploradas e expandidas pelos artistas, e nesse momento experimental o conceito de simbiose entra em evidência, ou seja, novas formas de interação aparecem: a relação corpo/máquina, o pós-humano, o humano híbrido, o corpo obsoleto, o ciborgue, até chegarmos ao corpo biocibernético.

1.3. CORPO – MÁQUINA / CORPO BIOCIBERNÉTICO

Antes de adentrar no conceito artístico, devo lembrar os pensamentos filosóficos que abordaram o conceito de corpo-máquina, revendo brevemente alguns destes, como a visão mecanicista de René Descartes e adentrando no pensamento fenomenológico, na cibernética e na complexidade.

No século 17, o pensamento mecanicista de Descartes propôs que o mesmo modo de analisar um objeto físico (máquina), também seria capaz de distinguir o funcionamento do corpo humano. No seu texto “*As paixões da alma*”, Descartes comparou o corpo a um relógio. Em outro texto, intitulado “*O homem*”, o autor foi além e comparou o funcionamento do corpo a um sistema hidráulico. Descartes criou então um conceito mecanicista sobre o funcionamento do corpo humano, inserindo conhecimentos de anatomia, física e da filosofia. A comparação do corpo como relógio ficou clara nesse trecho do texto “*As paixões da alma*”:

[...] julguemos que o corpo de um homem vivo difere do de um morto como um relógio, ou outro autômato (isto é, outra máquina que se mova por si mesma), quando está montado e tem em si o princípio corporal dos movimentos para os quais foi instituído com tudo o que requer para a sua ação; [ele] difere de outra máquina quando está quebrado e o princípio de seu movimento para de agir. (DESCARTES, 2000, p. 79)

Desse modo, para Descartes, a reflexão sobre o ser, entre a alma e o corpo, não se aplicaria aos diferentes corpos, sejam eles máquinas ou corpos biológicos. Além disso, não seria a alma que daria movimento e calor ao corpo, acreditando que esses eram

princípios básicos de um corpo vivo, como afirma no texto “*As paixões da alma*”: “Que é um erro que a alma dá movimento e calor ao corpo” (DESCARTES, 2000, p. 78).

O pensamento cartesiano estabelece no campo da filosofia os princípios fundamentais para o pensamento objetivo de corpo máquina: 1) todas as funções – respirar, mover-se etc. – obedecem apenas a disposições internas dos seus órgãos; 2) o corpo é um objeto partes extra partes; e 3) a máquina é um todo organizado.

Em contrapartida, na crítica fenomenológica de Merleau-Ponty, a noção de ambiguidade fica em evidência com os conceitos de saber anônimo, sinestesia, reversibilidade, expressividade e afetividade, indicando, desse modo, o sentido mais próximo da noção de corpo próprio como antítese do corpo máquina. Ao corpo foi atribuída todas as noções do pensamento mecanicista e, ao mesmo tempo, nenhuma exclusivamente. Ele é um objeto, um organismo, uma massa de carne e é, também, um pensamento vivo.

Um ser está unido a um corpo e, ao pensar, é algo multissensorial, uma vez que imagina, tateia, se move, fala, vê. O corpo opera como uma forma, assim como os sentidos estão interconectados. Como interpreta Merleau-Ponty em “*O olho e o espírito*” (2014), “toco as coisas com a minha visão como, também, as vejo com as minhas mãos”. Nesse caso, não seria apenas invalidar o conceito do corpo-máquina, mas sim, reencontrar a significação estrutural presente no comportamento do sistêmico do corpo e reconhecer que o corpo-máquina é apenas uma variante reducionista nascida do corpo vivido.

Já no ponto de vista da cibernética, por exemplo, foi proposto um modelo de aplicação, redescobrimos conceitos do mundo natural, do animal e do homem a partir de exemplos tecnológicos válidos. A cibernética partiu da afirmação de que o corpo (organismo) é um sistema complexo fluido, onde existem interações e informações sendo geradas para o funcionamento do mesmo. Segundo Norbert Wiener, em seu livro *Cibernética e sociedade*:

Quando comparo o organismo vivo como tal à máquina, nem por um momento pretendo dizer que os processos físicos, químicos e espirituais específicos da vida tal como a conhecemos habitualmente sejam os mesmos que os das máquinas simuladoras de vida. Quero simplesmente dizer que ambos podem exemplificar localmente processos antientrópicos que talvez possam ser exemplificados de muitas outras

maneiras que, naturalmente, não chamaremos nem de biológicas nem de mecânicas. (WEINER, 1993, p. 32)

Em 1948, Norbert Wiener, escreveu um livro que chamou de Cibernética. O autor define a Cibernética como a ciência da comunicação e do controle do corpo (ser humano) e máquinas. Dessa forma, a Cibernética também assume o papel de solucionar problemas para que a comunicação entre sistemas aconteça. Contudo, o conceito de Cibernética foi se modificando no decorrer do tempo até se tornar o que é atualmente, o estudo dos sistemas ou organismos (corpos) complexos e adaptativos.

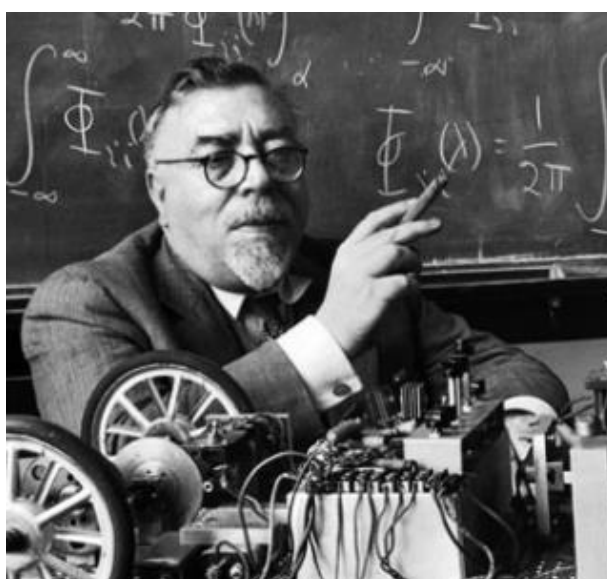


Figura 11. Norbert Wiener, 1894 - 1964.

Fonte: <https://cultura.estadao.com.br/Norbert-Wiener.jpg>

Sabendo que a cibernética reconhece o corpo como um sistema, ela então é dividida em dois momentos: a primeira Cibernética, que se preocupa com o funcionamento equilibrado do sistema, ou seja, o sistema tem uma meta para trabalhar, e é necessário um mecanismo regulador ou de controle para manter o mesmo estável. Se o sistema age de modo diferente do que se espera, o regulador é ativado e faz o sistema voltar a uma meta programada. Esse processo de correção dos distúrbios de corpo sistêmico é conhecido como “realimentação negativa”. Para a primeira Cibernética, um exemplo de realimentação (*feedback*) negativa é, por exemplo, o termostato de uma geladeira. Regulamos a geladeira para funcionar a uma temperatura “x”, o sistema da geladeira começa a resfriá-la para atingir a temperatura programada, se a temperatura atingida é

“y”, o termostato percebe a diferença e ativa o regulador (motor) para que a temperatura suba ou desça até se tornar igual a “x”.

A segunda cibernética procura trabalhar com sistemas autônomos, está preocupada com questões de auto-organização, adaptação e evolução. São sistemas que não são mais somente observados, mas sim, sistemas que observam. Surgiram também com a segunda cibernética, princípios de simuladores de modelos e a exploração da interação entre observador e observado. Todo observador, ao observar um sistema, distingue-o como tal e o constrói, formando com ele um novo sistema do qual participa. Essa segunda fase envolve conceitos como a autopoiesis que é a capacidade de um sistema se autodefinir, autocriar e, frequentemente, se renovar a partir dessas duas primeiras ações. Para Maturana e Varela (1997), o ser humano é um sistema que define, constrói e modifica sua própria organização a partir de seu comportamento e suas ideias, sendo autoconsistente e autopoietico. Podemos traçar analogias com sistemas biológicos, como células - que produzem internamente seus componentes, mas, no caso específico do corpo humano, tratamos da biologia dos sentidos, o corpo como sistema unificado, da neurobiologia cognitiva e, portanto, do campo dos pensamentos.

Partindo desses pressupostos, adentrei no pensamento artístico, cujos conceitos complexos se unem em um campo multidisciplinar, partindo da premissa da arte e tecnologia. Os processos de criação com as poéticas tecnológicas na contemporaneidade, além de explorarem os entendimentos de autoria, coautoria, participação coletiva, interação e imersão, entre outras, também busca investigar a dimensão ontológica do ser humano, do corpo e da vida. Mark Hansen (2006) criou um conceito que batizou de “paradigma da realidade mista” que consiste na interatividade que é aplicada na arte tecnológica por vários artistas. Essa interatividade, proporciona uma maior participação do corpo, assim como uma simbiose do mundo virtual e físico como maneira de proporcionar ao espectador novas experiências interativas e imersivas”.

Uma das características da arte tecnológica é que não existe um modo de estipular seus limites de possibilidades criativas. O avanço tecnológico a cada dia nos deixa mais próximos de dispositivos interativos como, o *smarthphone*, o computador, a internet e vários outros acessórios e meios que surgem deixam possibilidades cada vez maiores, e nos aproxima de outras realidades como o “mundo virtual”, essas realidades virtuais segundo Mark Hansen (2006),

a “segunda geração da realidade virtual”: um modelo interativo que prevê uma extensão do espaço virtual no espaço físico e ainda um “sujeito corporificado” (embodied subject) em sua interação com o espaço virtual (já uma extensão do espaço físico). Este modelo contrasta com a “primeira geração da realidade virtual”, que enfatiza a visão e – em menor escala – a audição, em seus sistemas interativos, contando com pouca – ou quase nenhuma – participação do corpo – e dos outros sentidos. (*apud* FERREIRA, 2009, p. 225)

Desse modo, busquei trabalhar com a participação do corpo e dos outros sentidos no processo interativo, pelo uso de dispositivos como os óculos de realidade virtual (*Vr Glass*), as luvas virtuais (*Data Gloves*), e assim pude explorar melhor os aspectos visuais e sonoros em sistemas interativos/imersivos (HANSEN 2006).



Figura 12. Óculos de realidade virtual (*Vr Glass*) e Luvas virtuais (*Data Gloves*).
Fonte: <https://www.livescience.com/53870-nullspace-virtual-reality-suit.html>

Mark Hansen (2006) analisou o conceito de realidade mista, ao contrário do modelo da primeira geração da realidade virtual, que tinha como foco a percepção visual e sonora do interator. Esse modelo misto, convida o interator a participar com seu corpo durante o processo de interatividade, de forma a usar a atividade motora-sensorial como principais agentes interativos. Para Hansen,

“os artistas e engenheiros de hoje buscam uma interpenetração fluida de realidades”. Este modelo evoca uma nova percepção do corpo no momento interativo: corpo como agente presente ao mesmo tempo nos espaços físico e virtual. (*apud* FERREIRA, 2009, p. 225).

Para Hansen (2006), a realidade mista representa “informação produzida através de uma extensão de nossa interface natural – isto é, corporificada, sensoriomotora – com o mundo”. Nessa perspectiva podemos obter várias sensações com nosso corpo.

A neurociência e a neuroengenharia, as próteses biomecânicas, a bioengenharia e a engenharia genética, o mundo virtual e sua realidade, modelos de vida artificial (avatares), são alguns dos modelos agregados à arte, tornando possível a multidisciplinaridade e a criação de novas experiências de troca compartilhada (*feedback*), interação e imersão.

Dentro dessa perspectiva surgiram dicotomias, como por exemplo, o artista Stelarc (1997, p. 54) que segue a linha na qual o corpo está obsoleto, afirmando que “O corpo é uma estrutura nem muito eficiente, nem muito durável. Com frequência ele funciona mal e se cansa rapidamente [...] É suscetível a doenças e está fadado a uma morte certa e iminente”. Assim, ele propõe em suas obras, o que seria “arte protética”, ou seja, a junção do corpo humano com as tecnologias, visando o seu aprimoramento. Além disso, para reforçar o argumento de sua produção, o artista relata que a pele “já foi o começo do mundo e, simultaneamente, os ‘limites do self’, mas que no atual momento de expansão tecnológica, a pele é invadida e penetrada por máquinas”. (STELARC, 2008, p. 12). Podemos pensar a partir de sua afirmação que a pele seria a interface entre o corpo e o ambiente, e que depois desse limite ter sido invadido por objetos na *body art*, o que temos hoje é a sua invasão pelas tecnologias. Dessa maneira, Claudia Gianetti (2010, p. 33) afirmou que Stelarc demonstra “através de suas ações, a dessacralização do corpo e sua transformação em objeto de intervenção”, exemplificando como o corpo é abordado nas obras do artista.

Em 1982, Stelarc apresentou uma performance intitulada “*Third Arm*”, em que o artista questionava os limites de seu próprio corpo ao agregar a ele um terceiro braço robótico - este possuía movimentos limitados em relação ao que um braço humano possui, e era controlado por meio de estímulos musculares e sensores acoplados em sua perna e abdomen. Em sua primeira apresentação pública, Stelarc tentou escrever simultaneamente com as três mãos a palavra “evolução”, de maneira a exemplificar sua habilidade extra; porém, o resultado não saiu como o esperado pelo artista, considerando assim, a obra como “falha”.

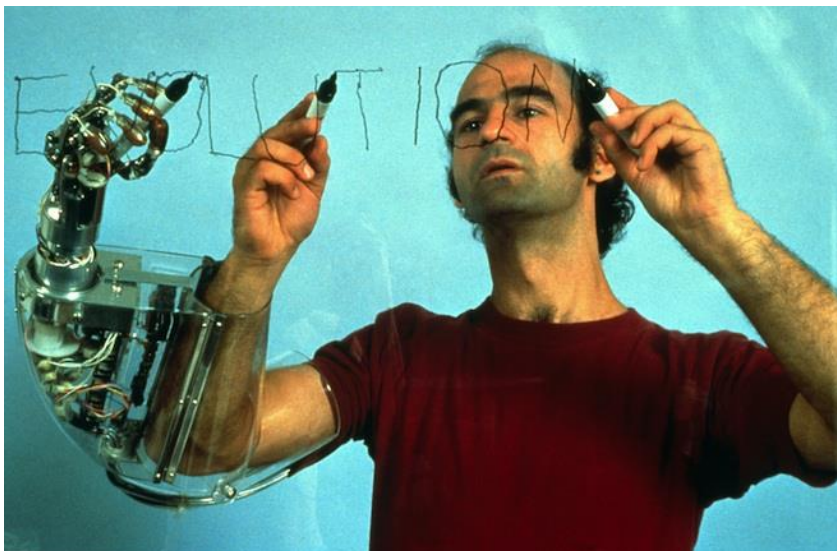


Figura 13. *Third Arm* – Stelarc, 1982.

Fonte: <https://www.wired.com/2012/05/stelarc-performance-art/>

Em contrapartida, no panorama atual, não posso pensar do modo cartesiano onde mente e corpo são separados, visto que esse argumento já foi descartado ao longo da história e dos avanços científicos, onde o paradigma é unicidade corpo/mente, e nesse argumento, Suzete Venturelli (2004, p. 146) nos apresentou questões que permitiram aos artistas contemporâneos trabalhar com a perspectiva da complexidade e da interdisciplinaridade, e nos afirmou que “a vontade de aplicarmos cada vez mais os conhecimentos da ciência para o fortalecimento do corpo humano deve-se, sobretudo, à certeza de que as nossas mentes evoluem muito mais rápido do que os nossos corpos”. Com essa afirmação, ela pôs em xeque o argumento de corpo obsoleto, dizendo que a nossa mente evoluiu muito mais rápido que nosso corpo.

Em decorrência do corpo e da tecnologia estarem intimamente relacionados na atualidade, com o advento do pós-humano, da simbiose, do ciborgue, surgiu um novo termo para a relação do corpo com a tecnologia, que é o “Corpo Biocibernético” batizado por Lucia Santaella, a autora explica que,

De saída, batizei de “biocibernético” o corpo que emergia nas artes. Então, já se falava muito no “corpo ciborgue”, mas, por pura intuição ou por me agradar a alquimia explícita entre o bio e o ciber, optei por essa nomenclatura bem menos popular do que a do ciborgue. Alguns anos mais tarde, no livro *Culturas e artes do pós-humano* (2003, pp. 181-208), dei-me conta do papel que a transformação tecnológica do corpo estava desempenhando para a emergência do pós-humano, este entendido não só como resultado dessas transformações, mas, sobretudo, como desconstrução das certezas ontológicas e metafísicas

implicadas nas tradicionais categorias, geralmente dicotômicas, de sujeito, subjetividade e identidade subjacentes às concepções humanistas que alimentaram a filosofia e as ciências do homem nos últimos séculos. (SANTAELLA, 2014, p. 12).

Dessa forma Santaella (2004, p. 100) seguiu investigando os artistas que trabalham com arte e tecnologia e sua relação com o corpo. Santaella percebeu que o corpo biocibernético “veio trazer munição para a hipótese de que os artistas cumprem o papel fundamental de moldar as tecnologias ao projeto evolutivo da sensibilidade humana.” Desse modo, seu conceito de corpo biocibernético chegou a uma maturação e consegue explicar de uma maneira mais clara, quando afirma,

consegui enunciar explicações mais racionais para a escolha do biocibernético em lugar de ciborgue. Na verdade, nunca dissociei os sentidos de “biocibernético” e de “ciborgue”. Este último nasceu da junção de cyb(ernetica)+org(anismo), cib(ernetica)+org(anismo). Entretanto, tenho preferido o termo “biocibernético”, de um lado, porque “bio” apresenta significados mais abrangentes do que “org”, de outro lado, porque “biocibernético” expõe a hibridação do biológico e do cibernético de maneira mais explícita, além de que não está culturalmente tão sobrecarregado quanto “ciborgue” com as conotações triunfalistas ou sombrias do imaginário fílmico e televisivo. (SANTAELLA, 2014, p.14).

As mudanças no modo de pensar a partir dos novos paradigmas que surgiram devido às novas possibilidades, geraram uma complexa mudança, tanto na parte teórica, quanto na parte da prática estética, e conseqüentemente provocaram novas maneiras de perceber, entender e de agir a respeito do mundo. De acordo com o pensamento de Vilém Flusser (2002), a principal função da arte é criar novos mundos, novos diálogos e novas realidades. E foi nessa premissa que os artistas, que trabalham com arte e tecnologia, buscaram explorar em larga escala, com obras que não são apenas um modelo pronto, mas que transcendem para um modelo dinâmico e em constante metamorfose, possibilitando uma experiência em campo expandido para o público/usuário/interator, por meio da simbiose entre homem-máquina. Essas propostas complexas exploram de diversas formas os meios interativos e, segundo Diana Domingues:

A simbiose humano-computador leva também a vida para laboratórios com tecnologias genéticas, remodelando a origem e modelizando seres, animais, plantas e organismos de toda espécie. Ultrapassadas dicotomias do natural/artificial, micro/macro, real/virtual, entre outros paradigmas que assolam pesquisas científicas e artísticas, os modelos clássicos de estabilidade e equilíbrio tornam-se insuficientes para dar conta de narrativas existenciais em estados de flutuação, dissipação e auto-organização, os quais misturam realidade biológica e realidade

tecnológica, numa caracterização tecnocientífica da cultura em patamares do pós-humano. (2009, p.28).

Uma das obras que pode ilustrar esses modelos é *HeartScapes*, de Diana Domingues, que consiste em uma instalação interativa que aborda a imersão em ambiente de realidade virtual com imagens e interfaces multissensoriais. A obra interativa oferece a imersão em uma paisagem virtual do coração, proporcionando ao público a mistura de efeitos visuais a ruídos de rituais indígenas. Ao se inserir na obra, o espectador experimenta fazer parte de um mundo virtual no qual seus batimentos cardíacos eram capturados por dispositivos de *biofeedback*, modificando as imagens apresentadas, que geravam a sensação de estar diante de um corpo em pleno funcionamento.

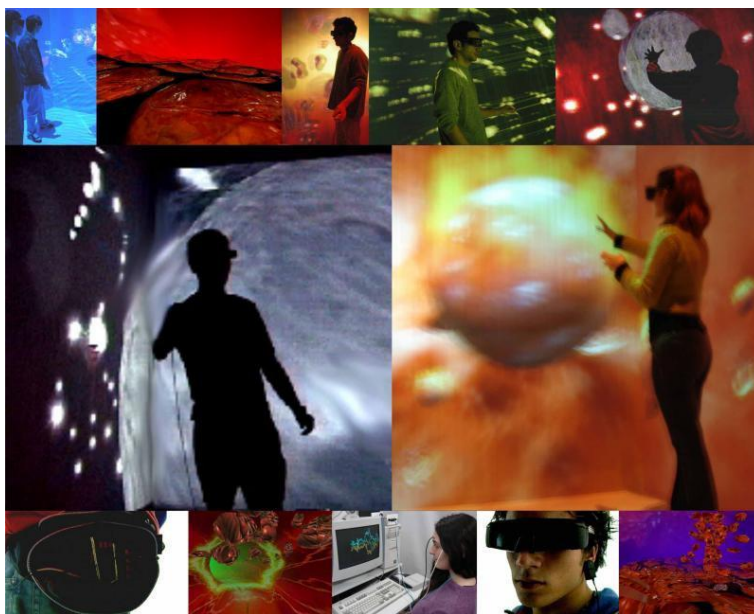


Figura 14. *Heartscapes* – Diana Domingues, 2005-2009.

Fonte: <http://median.newmediacaucus.org/mestizo-technology-art-design-and-technoscience>.

Os novos paradigmas da arte, como a interatividade, interface, simulação, realidade virtual, imersão, entre outros, agregam diferentes percepções sobre a vida e o mundo, reorganizando a percepção e o complexo cognitivo corporal. Dentro dessa visão, questões sobre materialidade/imaterialidade, coautoria, interator/usuário, sistema, realidade, são aspectos relevantes para a compreensão dos delineamentos artetecnológicos contemporâneos.

Além de onipresente, no decorrer do século 20 até hoje, o corpo foi deixando de ser uma representação, um mero conteúdo das artes, para ir se tornando cada vez mais uma questão, um problema que a arte vem explorando sob uma multiplicidade de aspectos e dimensões que colocam em evidência a impressionante plasticidade e polimorfismo do corpo humano. É o corpo como algo vivo, na sua vulnerabilidade, seu estar no mundo, suas transfigurações, que passou a ser interrogado. (SANTAELLA, 2014, p. 18).

Nesse sentido, o corpo se deslocou no espaço, penetrando o universo virtual complexo e conduzindo sua interferência no decorrer do processo artístico. O ambiente matemático das programações revelou para a arte um outro universo de possibilidades visuais, no qual o observador não está mais reduzido somente ao olhar, pelo contrário, ele assume a capacidade de poder interagir e modificar a estrutura da obra.

1.4 – INTERFACE, INTERAÇÃO/INTERATIVIDADE E IMERSÃO

Nesse tópico abordei os conceitos de base que norteiam o trabalho principal dessa pesquisa, visto que, foram apresentados os contextos nos quais a arte e tecnologia estão inseridas, parti para uma breve explicação do que é interface, interatividade e imersão.

Nesta pesquisa, o conceito de interface é o meio pelo qual os sistemas humano-máquinas compartilham informações, visto que, segundo Santaella (2003, p. 91), “de um lado, interface indica os periféricos de computador e telas dos monitores; de outro, indica a atividade humana conectada aos dados através da tela”; essas interfaces são mistas, quer dizer, físicas, biológicas e virtuais. Sabendo-se que,

a interface computacional contemporânea está em um processo de grande transformação, tendo na arte o seu carro-chefe. A profícua contribuição da arte para o desenvolvimento da interface faz dela peça-chave para compreender o futuro da interface, em seus modos de aparecimento ou desaparecimento. As dimensões da interação estão atreladas às conquistas e inovações trazidas pela arte das interfaces, gravadas indelevelmente na cultura contemporânea (ROCHA, 2013, p.101).

Esses sistemas interligados e interagindo com as interfaces mistas proporciona ao interator da obra a sensação de que ele se torna parte do sistema.

Outro ponto dessa pesquisa é o uso do conceito de interação que aqui baseia-se nos pressupostos da segunda cibernética, interrogo principalmente sobre as noções de auto-organização, sobre sistemas, redes e questões adaptação e evolução; diferente da “primeira cibernética” que questionava especificamente as noções de controle, de comunicação e de informação. Nesta pesquisa, o ponto de interesse da interatividade se dá pela autonomia e evolução, proporcionada pela utilização de algoritmos genéticos – complexas fórmulas matemáticas aplicadas às imagens, que mimetizam padrões naturais, desenvolvendo outras imagens semelhantes a esses padrões que existentes na natureza estará dependendo da comunicação entre o usuário e o sistema.

A introdução de tais algoritmos concedeu à interatividade um aspecto mais dinâmico, mais profundo e extremamente complexo. Os eventos que são gerados no interior do sistema são guiados por modelos perceptivos advindos das ciências cognitivas, simulando o funcionamento da mente por princípios da Inteligência artificial e da Vida artificial. No contexto da arte e tecnologia, observo que a construção de ambientes com capacidade de adaptar-se por comportamentos internos do sistema cíclico (*biofeedback*). Nesse sentido, as situações não se resumem a perguntas e respostas, a ações e reações; as situações evoluem com autocontrole, transmitindo respostas autônomas na geração de novos estímulos que possam causar uma aprendizagem sobre o sistema cibernético complexo.

O conceito de imersão refere-se à simulação de ambientes virtuais, para que o interator tenha a sensação ou ilusão de participar de um espaço físico real, palpável, onde esse interator pode conectar-se de tal forma a esse espaço simulado, que pode projetar seu lado sensorial e cognitivo para dentro desse ambiente.

O projeto mais ambicioso pretende apelar não somente para os olhos, mas também para todos os sentidos, de modo que a impressão de estar de fato em um mundo artificial seja completa. Considera-se que esse tipo de realidade virtual possa ser obtido pela interação de elementos de software e hardware que sensibilizem todos os sentidos humanos, com o maior grau possível de informação ilusória através de uma interface. (GRAU, 2007, p. 32).

Assim, em processos alegóricos, agenciamentos entre imagens, textos, coisas e até mesmo pessoas podem produzir novos sentidos dentro daquilo que se pode chamar

de “campo expandido” da arte (KRAUSS, 1984). Todo tipo de informação e materiais estão disponíveis para se agenciar interações produtivas e novos significados. Esse “campo ampliado” requer uma busca a novos paradigmas de consciência e responsabilidade quanto à ética e ao trabalho artístico.

1.4.1 INTERFACE

O conceito de interface varia de acordo com o estudo no qual ele é empregado. Em informática, é considerado uma fronteira compartilhada por dois dispositivos, sistemas ou programas que trocam dados e sinais. Neste trabalho, o conceito de interface é o meio pelo qual os sistemas humano-máquina compartilham informações. Nele, as interfaces são mistas, quer dizer, física ou biológica (eletrodos, periféricos do computador, imagens projetadas, pele, crânio, olhos).

A interface do usuário, ponto de intercâmbio entre humanos e máquinas, pode assumir muitas formas. É na interface, a ser usada pelo observador ativo de acordo com as regras do mundo particular de ilusão, que as estruturas de simulação projetadas para a comunicação encontram-se com os sentidos humanos. (GRAU, 2007, p. 225).

Segundo o pensamento de Domingues (2009), da era digital, emerge a Estética da Ação com os processos de percepção e construção do conhecimento abertos pelas interfaces. A autora apresentou sua ideia partindo do processo que se dá pela interatividade do usuário com a obra, estabelecendo um processo de criação novo a partir desse momento, criando assim outras possibilidades estéticas, acrescentando que os processos de percepção e construção do conhecimento são abertos pelas interfaces.

O conceito de interface como aparato tecnológico é o de propiciar que duas coisas se toquem, afetando uma a outra pela interface que os conecta. Chega-se, assim, na importância da interface, não só do hardware, mas também das partes de um programa ou software que propiciam a comunicação de humanos e ambientes digitais. (DOMINGUES, 2009, p. 41).

Para Santaella (2014, p. 15), as interfaces vêm cada dia mais tentando se tornar imperceptíveis, como as interfaces invisíveis que estão aparecendo junto com os avanços tecnológicos, pode-se observar então que essas interfaces estão adentrando no cotidiano sem que sejam percebidas, tornando-as “naturais”, como aponta a autora,

A história dos aparatos computacionais funciona como uma evidência exemplar dessa tendência à imperceptibilidade até o extremo da invisibilidade. No início, os computadores eram enormes com interfaces muito pouco amigáveis. Logo depois, entraram em nossas casas sob a forma dos PCs com os suplementos de visualização e de interação, o monitor e o mouse. Não passou muito tempo para que o tamanho dos computadores diminuísse trazendo consigo a portabilidade dos laptops. Hoje, os tablets e os smartphones, com sua miniaturização e suas interfaces de toque funcionam como demonstrações eloquentes de que eles provavelmente também deverão ceder passagem para os ambientes inteligentes e para a internet das coisas que já está começando a pingar em nossas vidas. Então, as tecnologias já estarão de tal forma naturalizadas, ou seja, adaptadas ao humano e vice-versa, que a hibridação entre o bio e o ciber nem será mais percebida. (SANTAELLA, 2014, p. 15).

As interfaces tornam-se, portanto, um tipo de condutor, estabelecendo a interatividade e convertendo os espectadores em atores dos sistemas.

1.4.2 INTERAÇÃO / INTERATIVIDADE

O princípio da interação ocorre quando existe uma ação que gera outra ação, segundo o pensamento de Murray (2003, p.127) a “capacidade gratificante de realizar ações significativas e ver os resultados de nossas decisões e escolhas”. Os trabalhos com *feedback* em tempo real têm um grande efeito para quem experimenta, devido a essa resposta de uma ação gerando outra ação ou ações, desencadeando uma desenvoltura satisfatória, devido a sua efetividade.

No contexto do mundo natural as coisas do mundo respondem a uma ação com uma reação. Um corpo físico tem esse comportamento. Reage, em termos físicos. No ambiente social as pessoas agem a partir de um processamento cognitivo. Não é um processo físico apenas, mas cognitivo, de processamento mental. Por este motivo temos interações sociais, ações resultantes de outras ações. Pessoas interagem. No meio computacional temos a mesma lógica, o sistema processa os *inputs*, gerando novas ações de sistema. Sistemas processam logicamente informações, resultando em outras ações, e não em reações. Por isto os sistemas são interativos, lógicos, semióticos. (ROCHA, 2011, p. 54).

Se a interface permite a comunicação entres dois sistemas, a interatividade é o ato de se relacionar desses sistemas - a troca de informação, a influência gerada, o compartilhamento recíproco desses dados.

Sistema interativo: Estruturação independente de um programa que se dá quando um receptor pode atuar também como emissor. Trata-se de uma interatividade de conteúdo, na qual o interator dispõe de um maior grau de possibilidade de intervenção e manipulação das informações audiovisuais ou de outras naturezas, como a possibilidade de ação remota pela robótica ou dos sistemas mais complexos, gerando novas informações. (GIANETTI, 2002, p. 119).

E compartilhando do mesmo entendimento que Cláudia Giannetti (2006) tem de tais manifestações, temos que aquelas que se valem de “modos ou meios não tecnológicos para lograr a inter-relação do observador com a obra, serão denominadas arte participativa”, enquanto que a arte ou sistema interativo necessita de fato do emprego de “interfaces técnicas para estabelecer relações entre o público e a obra” (GIANETTI, 2006, pg. 14).

Chega-se, então, em um momento de diálogo entre arte, telecomunicações e tecnologia que o participante, não mais apenas espectador, passa à posição de interator. Como Suzete Venturelli (2004, pg. 74) aponta, “uma das características fundamentais da arte computacional é a interação que ela pode provocar entre a obra e o espectador”; nas palavras de Giannetti (2006, pg. 125): “a ação do observador é, assim, parte essencial e complementar do sistema interativo” já que o artista “não mais oferece uma obra-objeto, mas um processo a ser vivido com o corpo através de um sistema interativo” (DOMINGUES, 2001, s.p).

Para Pierre Lévy (1999), a interatividade não se refere somente à participação ativa do público no processo da troca de informações, ela é uma qualidade técnica característica de sistemas inteligentes, possibilitando a transformação dos envolvidos na comunicação, em emissores e receptores da mensagem, ao mesmo tempo (*input e output*).

A arte interativa, além de transformar a obra em ambiente cognitivo para o público, a transforma no lugar da experimentação, da ação, da performance, do toque, no qual os signos produzidos são organizados em um todo lógico comunicativo por meio de uma interface. Ela provoca ao interator a sensação de expansão de seu universo cognitivo e de suas capacidades sensoriomotoras. O aspecto comportamental que as tecnologias interativas exigem do público, proporcionam ao corpo um “curto-circuito plurissensorial” (DOMINGUES, 1997, p. 25).

Desse modo, podemos ver vários pensamentos sobre a interação e interatividade, porém, devemos deixar claras suas diferenças.

1.4.3 IMERSÃO

O conceito de imersão refere-se à simulação de ambientes virtuais, para que o interator tenha a sensação ou ilusão de participar de um espaço físico real, palpável, onde esse interator pode conectar-se de tal forma a esse espaço simulado, que pode projetar seu lado sensorial e cognitivo para dentro desse ambiente. Para Oliver Grau,

A imersão pode ser um processo mentalmente ativo; na maioria dos casos, porém, a História da Arte antiga e na mais recente, a imersão é a absorção mental iniciada com o propósito de desencadear um processo, uma mudança, uma transição. Suas características são uma distância crítica reduzida daquilo que é representado, e um envolvimento emocional com o produto. (GRAU, 2009, 257)

Em algumas obras interativas, a imersão pode também ser vista de outra maneira, uma vez que não se trata apenas de realidade virtual, podem ser desenvolvidos trabalhos com ambientes e interfaces mistas (*softwares, hardwares*, ambientes virtuais, simulados ou reais), em que o interator fica ambientado no meio da obra, interagindo com ela, simultaneamente. Segundo o pensamento de Grau,

O projeto mais ambicioso pretende apelar não somente para os olhos, mas também para todos os sentidos, de modo que a impressão de estar de fato em um mundo artificial seja completa. Considera-se que esse tipo de realidade virtual possa ser obtido pela interação de elementos de software e hardware que sensibilizem todos os sentidos humanos, com o maior grau possível de informação ilusória através de uma interface. (STEUER, et al; *apud* GRAU, 2007, p. 32).

De acordo com o pensamento de Jannet Murray (2003), imersão se relaciona com a ideia de estar imerso em outro ambiente: Imersão é um termo metafórico derivado da experiência física de estar submerso na água.

Buscamos de uma experiência psicologicamente imersiva a mesma impressão que obtemos num mergulho no oceano ou numa piscina: a sensação de estarmos envolvidos por uma realidade completamente estranha, tão diferente quanto a água e o ar, que se apodera de toda a nossa atenção, de todo o nosso sistema sensorial. (MURRAY, 2003, p.102).

Seguindo o pensamento de Murray, fica clara a caracterização do envolvimento sensorial e da noção metafórica de imersão, mesmo ao dizer estar imerso na escuta de uma música ou ao assistir a um filme. Nesse caso, adota-se a imersão, a noção perceptiva e interativa de estar envolvido sensorialmente.

Com as inovações tecnológicas e a evolução gráfica dos computadores, podemos perceber a facilidade de acesso à informação pelos usuários, assim como, a participação ativa do mesmo, visto que a interatividade também aumentou com essas novas tecnologias, sendo assim, segundo o pensamento de Giannetti (2006, p. 121), isso possibilitou uma “integração sensorial do espectador no espaço do sistema”, mesmo existindo ainda uma distância física entre o interator e a obra.

Porém, essa distância começa a se atenuar a partir da criação dos sistemas interativos imersivos, que acentuam os controles do usuário sobre seu entorno artificial e o distanciam de sua realidade e de seu contexto natural. (ROCHA, 2011, p. 115).

De acordo com Giannetti (2006), um dispositivo que possibilita a imersão, são os óculos de visualização estereoscópica - como os de realidade virtual que temos hoje em dia. O usuário experimenta a entrada em mundos virtuais. A autora ainda explana,



Figura 15. Samsung Gear VR, 2015.

Fonte: <https://www.cnet.com/reviews/samsung-gear-vr-2015-review/>.

A partir daí compreende-se que a diferença principal entre sistemas interativos imersivos e não-imersivos está na forma de acesso do usuário à informação, ou seja, na interface utilizada pelo sistema: [...] no primeiro caso, a tendência é fazer “desaparecer” a presença física da interface, enquanto que no outro caso, o emprego habitual do teclado ou do mouse como elementos intermediários entre observador e

máquina determinam uma forma de acesso externo à informação (GIANNETTI, 2006, p. 121).

Sabendo-se disso, podemos ver que existe uma necessidade de que a interface se torne cada vez menos visível, para que haja uma experiência imersiva maior. Desse modo, o usuário poderá interagir com esse espaço virtual, mais próxima ao mundo natural. Diante disso, Santos conclui que,

Portanto, através de sistemas interativos imersivos, [...] o interator pode inserir-se em um universo diferente, no qual o processo interativo é determinado de um modo mais direto pelas ações que podem provocar mudanças no ambiente virtual em que ele está interagindo. Quase como em uma relação de troca que existe no espaço real, em que podemos ter todas as sensações permitidas aos sentidos (SANTOS, 2008, p. 233).

1.5 – DIÁLOGOS ENTRE ARTES, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Percebo que ao longo do tempo que a relação entre arte e ciência foi se modificando, desde as suas divergências no modo de pensar/criar, as suas similaridades. De fato, podemos perceber que os cientistas estão preocupados com as regras, já os artistas se preocupam com as possibilidades perceptivas. O cientista procura desvendar os códigos/linguagens da natureza. O artista tecnológico, porém, precisa ter ambas as visões, isto é, ele deve ser perspicaz quanto às possibilidades perceptivas, assim como quanto ao conhecimento sobre as leis que regem seus códigos/linguagens.

Na ciência quântica, pode-se observar a busca por novos modelos de interpretação da complexidade do universo, visto que o princípio da incerteza de Heisenberg (1927), nos mostra que existe um limite primordial para o que podemos saber sobre o comportamento das partículas quânticas e, portanto, da natureza. O que se tem são cálculos de probabilidades de onde as coisas estão e como se comportarão. Segundo Ilya Prigogine (1979), ao contrário do paradigma Newtoniano, que procura as regras imutáveis do universo, o princípio da incerteza parece causar uma entropia da física clássica, e assim, abre-se caminho para a desordem, ambiguidade, o caos e em paralelo podemos aproximar para o campo da interpretação estético-artística.

De acordo com esse ponto de vista, a ciência não consegue respostas para todos os questionamentos, possibilitando, assim, uma abertura para o contato entre a arte e a estética. E isso ao mesmo tempo em que é inquietante, também é entusiasmante, porque

se abre a janela para o criativo, o experimental, isto é, nesse paradigma é preciso reunir estas áreas e estabelecer uma coerência entre elas.

Esta mudança de paradigma vem acontecendo constante e sistematicamente pela ação dos meios tecnológicos, com o crescimento das tecnologias multimídias que providenciam recursos e instrumentos para todas as atividades humanas, inclusive a arte, de tal forma que a interdisciplinaridade se torna essencial para pesquisas no campo da arte e tecnologia.

Partilhando do pensamento complexo, posso dizer que as áreas diversas do conhecimento interagem entre si, sem a necessidade de um controle central. A partir dessa abordagem, podemos afirmar que o universo é sistêmico. O entendimento de tais dinâmicas sistêmicas requer a integração de inúmeras perspectivas oriundas das mais diversas áreas do conhecimento, partindo da física à química, da biologia à ciência da computação, da ciência social à economia, da matemática às artes.

Partindo desses pensamentos, vejo um número crescente de artistas que trabalham com arte e tecnologia, e que, na perspectiva dessa dissertação, serviram de referência para esta pesquisa, devido ao fato de que estes artistas trabalham com tecnologias interativas, usando a interface humano máquina e conceitos como o *biofeedback*, imersão, interface, entre outros. Desse modo, apresentarei esses artistas e algumas de suas obras que contribuíram para este trabalho em arte e tecnologia.

Dentro das pesquisas com dispositivos de *biofeedback* e interação cérebro computador com tecnologia baseada em EEG, podemos observar que esse tipo de arte vem se desenvolvendo e se tornando cada vez mais complexa, devido às novas tecnologias e às possibilidades que essas proporcionam, como na instalação *Mind Pool* (2012), de Kiel Long que, segundo o artista:

Produzem padrões de movimentos únicos na superfície de um líquido magnetizado, esses padrões se alteram devido à variação das ondas cerebrais que o utilizador da obra envia ao sistema, e isso permite uma experiência que é uma exteriorização do funcionamento do cérebro, permitindo que o usuário se envolva como um performer, explorando a relação entre a mente e o corpo em um ambiente físico e sonoro dinâmico.



Figura 16. Mind Pool, 2012. Kiel Long.
Fonte: <http://kiellong.net/the-static-organ/mind-pool/>

"Eunoia II" é uma performance da artista Lisa Park, que usa de um *neuroheadset* EEG (sensor de ondas cerebrais) para obter feedback em tempo real, por meio de ondas cerebrais e reações emocionais. Lisa Park está usando valores emocionais (dados) apanhados pelo *neuroheadset* EEG, que depois se traduz em ondas sonoras que criam vibrações nas piscinas de água colocadas nos alto-falantes. O Emotiv EEG (dispositivo comercial usado pela artista) transmite dados continuamente enquanto monitoriza sua atividade cerebral (ondas, Alpha, Beta, Delta, Gamma, Theta) e estados emocionais (Frustração, Excitação, Engajamento, Meditação). Ao longo do desempenho de "Eunoia II", a intensidade de seus sentimentos em tempo real é refletida na intensidade da saída de som (volume, velocidade).



Figura 17. Eunoia II, 2015. Lisa Park.
Fonte: <http://www.clotmag.com/lisa-park>

O artista Alex Anpilogov desenvolve também um trabalho com arte interativa usando a interface cérebro máquina com EEG. O artista descreve sua obra brevemente dessa forma:

On Your Wavelength é uma instalação interativa que analisa suas ondas cerebrais e as transforma em uma composição musical e em um show a laser em tempo real. O vídeo e performances associadas foram gravados durante o Merge Festival 2015, em Londres. A instalação retornou em uma nova forma para Winter Lights 2017, em Canary Wharf, Londres.



Figura 18. On Your Wavelength, 2015. Alex Anpilogov.

Fonte: <http://mergefestival.co.uk/merge-events-2015/2015/8/18/on-your-wavelength-marcus-lyall-in-collaboration-with-rob-thomas>

A artista Luciana Haill busca investigar a natureza da consciência humana e a conectividade através do uso de EEG como forma de arte. Por meio de instalações digitais e analógicas, bem como a disciplina tradicional de desenho, a Haill investiga a atividade do cérebro no estado imediatamente anterior ao sono e examina como os sinais podem refletir vários estados de consciência. A artista fala:

Não consigo prever quais os níveis de velocidade e amplitude de EEG que gravarei do cérebro de alguém durante a interação ou em uma das minhas sessões particulares de captação de sinais em estado de sono.



Figura 19. Dreamachine, 2014. Luciana Haill.

Fonte: https://creators.vice.com/en_au/article/bmyq43/brainwave-artists-immersive-experiences

Outro modo de trabalhar com o sistema de *biofeedback* é por meio da captura dos batimentos cardíacos do interator. Esse modo de captação de sinal é o eletrocardiograma (ECG). A variedade de possibilidades com esse tipo de dispositivo é variável, podendo assim, captar sinais desde os batimentos do coração, até contrações musculares. Pode-se observar esse tipo de interação com a obra do artista Sean M. Montgomery e sua instalação *Emergence*. O artista descreve sua obra assim:

Emergence convida o espectador a examinar a relação entre biologia e tecnologia. Quando um espectador toca a instalação, os impulsos elétricos gerados em cada batida do coração do espectador se propagam por todo o corpo e são detectados e digitalizados pela instalação. Durante esta interação, *Emergence* sincroniza seus próprios pulsos elétricos com o coração do espectador para criar luz e som”.



Figura 20. Emergence, 2010. Sean M. Montgomery.
Fonte: <http://produceconsumerobot.com/emergence/>

A artista brasileira Rachel Zuanon também faz uso de tecnologia baseada em ECG. Em sua obra *BioBodyGame*, os sinais cardíacos do usuário são captados e enviados para o sistema computacional, dessa forma, o nível de stress do jogador pode ser medido através de suas palpitações e isso implica diretamente na funcionalidade do jogo, fazendo com que este fique mais fácil de jogar ou mais difícil, a artista usa o conceito de computadores vestíveis, visto que esse também pode ter um design funcional para o cotidiano. Para a artista esse conceito é definido como:

Uma obra de arte que pode ser exposta. Mas ele também tem uma aplicação que vai além da arte. Ele traz a computação vestível, que é algo para ser usado no dia a dia. Se você quisesse ir ao supermercado, ir à escola com ela você poderia. O conceito da computação vestível significa computador estar com você, fazer parte de você, onde quer que esteja. Ele pode se transformar em uma aplicação para as pessoas jogarem game em casa.



Figura 21. BioBodyGame, desde 1998. Rachel Zuanon.

Fonte: <http://revistagalileu.globo.com/Revista/Galileu/0,,EDR87011-7833,00.html>

No campo do *Biofeedback*, ainda temos a artista Amy Karle com sua obra “*Biofeedback*”, que usa um processador de Imagem Sandin (processador de tecnologia analógica) e sensores por todo seu corpo para a captação de sinais e funcionamento do sistema áudio/visual. Dessa maneira, segundo a artista:

conecta seu corpo e consciência à tecnologia para criar arte, usando um processador de Imagem Sandin como um dispositivo de visualização eletrofisiológico. Enquanto se medita, os inputs são gerados para o computador analógico de Sandin para gerar imagem e som em tempo real. Amy Karle considera sua obra como performance de longa duração e criação de arte durante o processo.

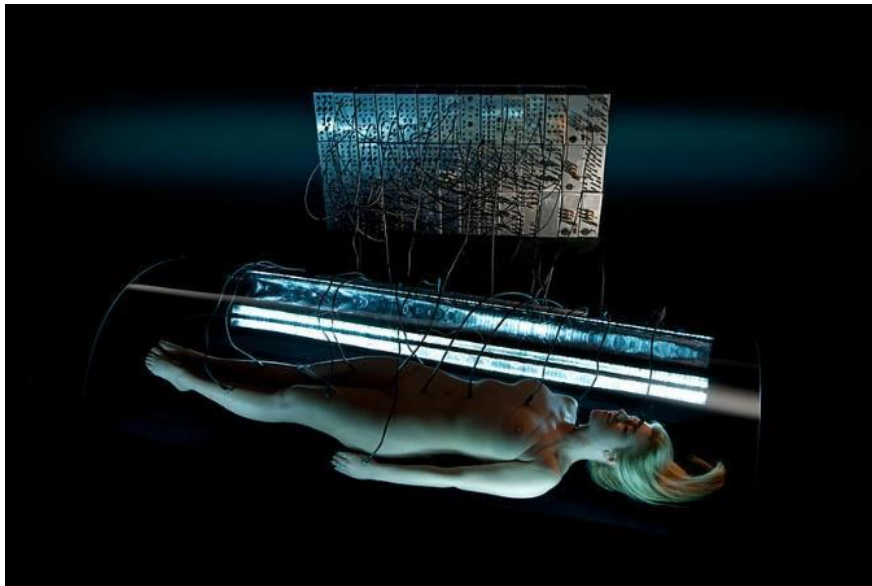


Figura 22. Biofeedback, desde 2011. Amy Karle.
Fonte: <http://www.amykarle.com/#!/portfolio/cgc6>

Assim, após contextualizarmos os processos históricos e as relações do corpo como suporte e a relação humano máquina que levaram a arte e tecnologia ao patamar contemporâneo, podemos visualizar possibilidades de um universo poético. Inspirados nos artistas que trabalham com arte e tecnologia, discutidos anteriormente, damos continuidade ao processo e melhoria da ciberinterface proposta por este trabalho, guiados pelas técnicas de captura de sinais neurais e pelas técnicas de computação. Seguiremos agora com os estudos sobre EEG e suas especificidades, assim como adentraremos no conceito de *biofeedback*, para compreendermos os sinais neurais e suas características, com foco no córtex visual que é a principal área do cérebro responsável pela criação do produto imagético dessa pesquisa.

2. CAPÍTULO II – TÉCNICA DE ELETROENCEFALOGRAFIA, SINAIS CORTICAIS E BIOFEEDBACK.

Neste capítulo serão apresentados os conceitos e as especificidades do estudo da técnica experimental de neurociências eletroencefalografia (EEG), baseados no referencial mais utilizado nos estudos dessa área. E ainda, o conceito chave para essa pesquisa que é o *biofeedback*.

As técnicas de neurociência avançaram exponencialmente nas últimas décadas devido as pesquisas e ao progresso tecnológico que permitem experimentar e desenvolver várias possibilidades, dentre eles os sistemas de interface cérebro máquina (ICM). Nesta pesquisa utilizai a técnica baseada em eletroencefalografia (EEG) não invasiva, que utilizou o processamento de sinais neurais, e programas computacionais, para se extrair informações dos padrões gerados nesse processo. Ao invés de manter o foco em um neurônio isolado a técnica de EEG nos permite captar uma área com vários neurônios, dessa maneira, captei especificamente sinais do córtex visual que é o foco do estudo em questão.

Neste capítulo descreverei a técnica de EEG, porém, sem aprofundar em conceitos que se referem aos processos e procedimentos médicos e hospitalares, limitando a minha descrição ao entendimento das funções neurológicas básicas e frequências específicas de ondas cerebrais. Desse modo, explico brevemente a estrutura cortical, os sinais neurais de interesse, a posição dos eletrodos, para enfim adentrarmos no conceito de *biofeedback*.

2.1– O CÉREBRO: ESTRUTURAS CORTICAIS E O LOBO OCCIPITAL

O cérebro é a maior e mais evidente estrutura do encéfalo, constituindo cerca de 80% da massa total deste. O cérebro está dividido em duas metades, os hemisférios cerebrais esquerdo e direito, interligados entre si pelo corpo caloso, situado na parte inferior da fissura inter-hemisférica.

Cada hemisfério possui uma fina camada externa de substância cinzenta – o córtex cerebral, que contém os corpos celulares dos neurônios. Os hemisférios cerebrais estão divididos em quatro lobos cerebrais: lobo frontal, temporal, parietal e occipital, cada um com funções específicas a desempenhar.

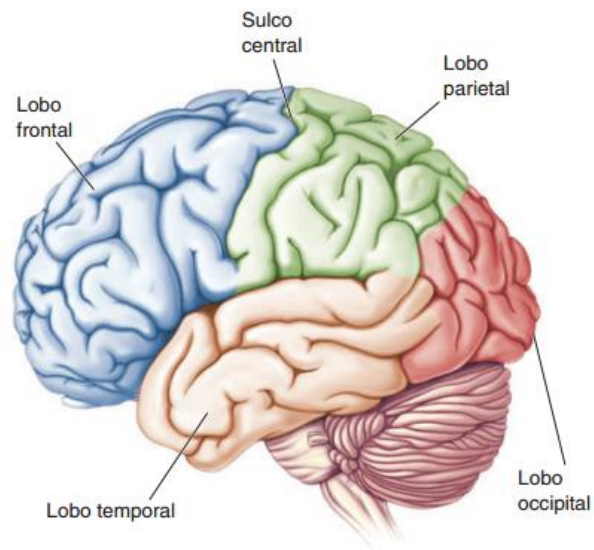


Figura 23. Os lobos do cérebro Humano, Bear, 2008.

Fonte: <http://cerespecial.blogspot.com/2013/11/funcoes-do-cerebro-humano.html>

O lóbulo frontal é assim chamado por localizar-se na parte frontal do crânio. Ele é particularmente importante por ser responsável pelos movimentos voluntários e por ser o lóbulo mais significativa para o estudo da personalidade e inteligência.

O lóbulo parietal está localizado na parte posterior do lóbulo frontal. Ele possui uma área denominada somatossensorial, responsável pela percepção de estímulos sensoriais que ocorrem através da epiderme ou órgãos internos.

O lóbulo temporal possui uma área especial chamada córtex auditivo, como o próprio nome já diz, esta área está intimamente ligada a audição.

Na parte de trás da cabeça, mais precisamente na região da nuca, localiza-se o lóbulo occipital. Nele encontra-se o córtex visual, que recebe todas as informações captadas pelos olhos. E que será a parte do cérebro que evidencio neste estudo.

2.1 – O LOBO OCCIPITAL

Localizados na parte inferior do cérebro e cobertos pelo córtex cerebral, os lobos occipitais processam os estímulos visuais, são também conhecidos como córtex visual. Possuem várias subáreas que processam os dados visuais recebidos do exterior depois destes terem passado pelo tálamo, uma vez que existem zonas especializadas para a visão da cor, do movimento, da profundidade, da distância e assim por diante. Depois de passarem por esta área, chamada área visual primária, estas informações são direcionadas para a área de visão secundária (córtex estriado), onde são comparadas com dados anteriores, permitindo assim o indivíduo identificar, por exemplo, um cachorro, uma bicicleta ou uma laranja. O significado do que vemos, porém, é dado por outras áreas do cérebro, que se comunicam com a área visual, considerando as experiências passadas e nossas expectativas. Isso faz com que o mesmo objeto não seja percebido do mesmo modo por diferentes indivíduos.

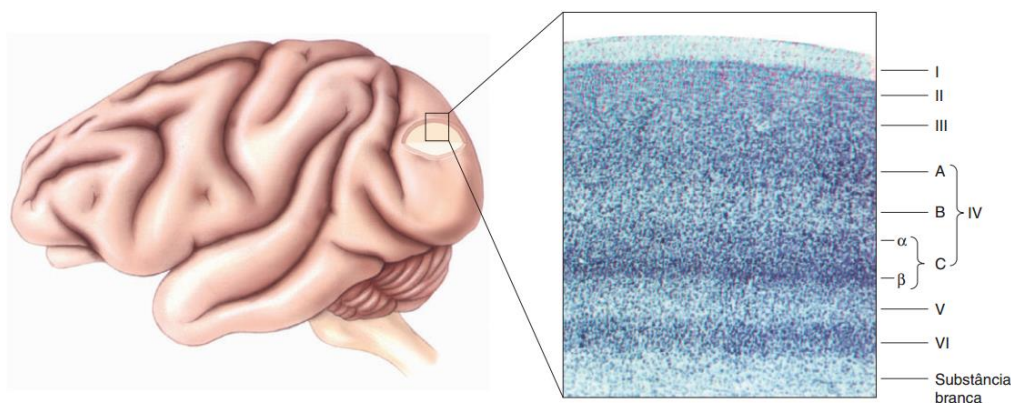


Figura 24. O córtex estriado, Bear, 2008.

Fonte: <http://cerespecial.blogspot.com/2013/11/funcoes-do-cerebro-humano.html>

O córtex visual será portanto de suma importância para esse trabalho. É nele que serão captados os sinais que interessam para esta pesquisa, é importante dizer que nesse momento da pesquisa o que me interessou foi o conjunto das frequências emanadas nessa área do cérebro, pois, o equipamento de EEG usado é limitado e não faz distinção dessas camadas do cortex estriado e sim do conjunto de células estimuladas nessa área.

2.2 – ELETROENCEFALOGRAFIA – EEG

O eletroencefalograma é o método mais clássico de registro de ritmos cerebrais. Esta é uma medida que nos permite visualizar a atividade generalizada do córtex cerebral ou seja, podemos captar sinais de uma área maior do cérebro e de maneira Não-Invasiva. O percussor do estudo de EEG Não-invasivo é Hans Berger (1873-1941) que fez os primeiros registros com essa técnica,

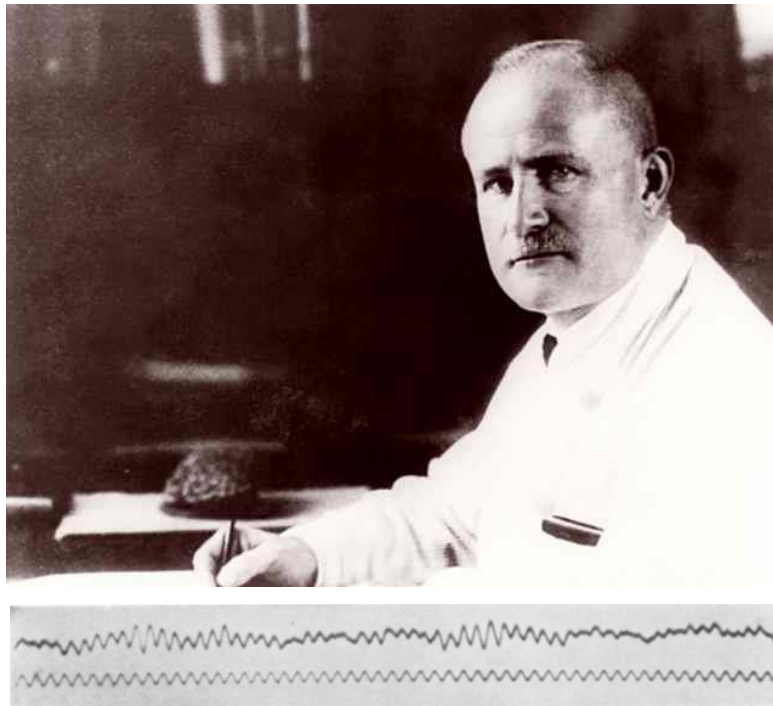


Figura 25. Hans Berger e o primeiro registro de EEG, 1928.

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/69/HansBerger_Univ_Jena.jpeg

Na imagem acima vemos a primeira gravação de EEG em seres humanos obtida por Hans Berger, no ano de 1924. A linha superior é EEG, e a inferior é o sinal temporal. Mark Bear afirmou,

As raízes do EEG estão em um trabalho realizado pelo fisiologista inglês Richard Caton, em 1875. Utilizando um mecanismo primitivo sensível à voltagem, Caton fez registros elétricos a partir da superfície dos encéfalos de cães e coelhos. O EEG humano foi primeiramente descrito pelo psiquiatra austríaco Hans Berger, em 1929. Berger observou que o EEG do sono e da vigília eram nitidamente diferentes. Hoje, o EEG é usado principalmente para auxiliar no diagnóstico de certas condições neurológicas, especialmente crises de epilepsia, e, com o propósito de investigação, notavelmente para estudar o sono. (BEAR, 2008, p. 586).

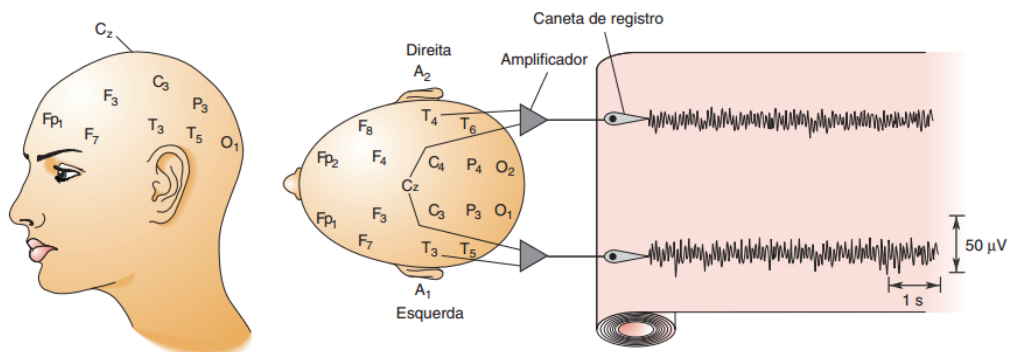


Figura 26. Esquema de EEG, Bear, 2008.

Fonte: <http://cerespecial.blogspot.com/2013/11/funcoes-do-cerebro-humano.html>

Atualmente estão surgindo algumas pesquisas com o EEG com intuito de treinar o cérebro, para concentração, diminuir o estresse, tudo por meio da interação entre o cérebro e o computador, essa interação é feita com a captação de impulsos elétricos emanados pelos neurônios, seguindo esse pensamento Bear nos afirma que:

Um EEG mede, principalmente, a voltagem gerada pelas correntes que fluem durante a excitação sináptica dos dendritos de muitos neurônios piramidais no córtex cerebral, o qual se situa logo abaixo da superfície cranial e constitui 80% da massa encefálica. Entretanto, a contribuição elétrica de qualquer neurônio cortical isolado é excessivamente pequena, e o sinal deve penetrar várias camadas de tecido não-neural, incluindo as meninges, fluidos, ossos do crânio e pele para atingir os eletrodos. Portanto, são necessários muitos milhares de neurônios subjacentes, ativados conjuntamente, para gerar um sinal de EEG grande o suficiente para ser plenamente visualizado. (BEAR, 2008, p. 587).

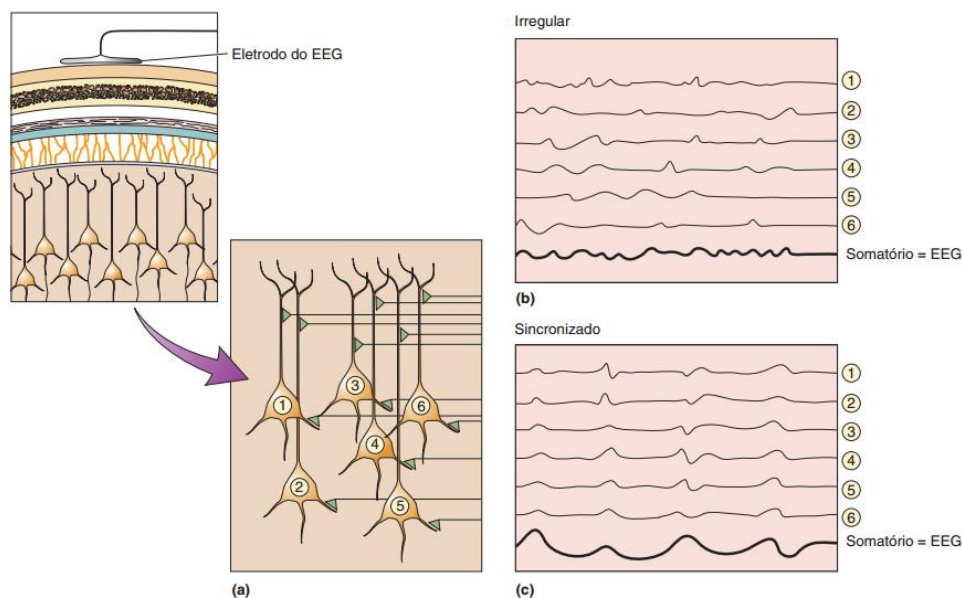


Figura 27. EEG sinal regular e irregular, Bear, 2008.

Fonte: <http://cerespecial.blogspot.com/2013/11/funcoes-do-cerebro-humano.html>

Como dito anteriormente, capitamos as frequências do córtex visual, onde não fizemos a distinção das áreas específicas, para ter um sinal mais amplo. Visto que, ao captar uma área maior,

Isso tem uma consequência interessante: a amplitude do sinal do EEG depende muito de quão *sincronica* é a atividade dos neurônios subjacentes. Quando um grupo de células é excitado simultaneamente, os diminutos sinais somam-se para gerar um sinal grande na superfície. Contudo, quando cada célula recebe a mesma quantidade de excitação, porém dispersa no tempo, os sinais somados são mais fracos e irregulares. (BEAR, 2008, p. 587).

Este procedimento de captura de sinais neurais iniciou-se há muitas décadas, e segundo Niedermeyer e Silva (1982), as ideias iniciais que se tem notícia a respeito do funcionamento do cérebro humano vieram da Grécia, quando Aristóteles imaginava que o sangue do corpo era resfriado pelo cérebro. Ainda, de acordo com os autores, em 1929, o alemão Hans Berger, considerado o precursor dos estudos eletroencefalográficos, conseguiu efetuar os primeiros registros de sinais cerebrais. Desde então, várias pesquisas têm sido feitas e o conhecimento sobre o funcionamento do cérebro e como ele se comporta tem sido ampliado. Para os autores a aquisição dos sinais neurais utiliza técnicas

e métodos para o procedimento, divididas entre as categorias Invasiva e Não-invasiva que apresento mais à frente.

Entretanto, a interpretação das diversas faixas de frequências dos sinais cerebrais de uma maneira mais precisa ainda apresenta grandes desafios. Tehovnik (2013), argumentou que são necessários mais estudos sobre o assunto a fim de compreender como o cérebro, por meio dos seus sinais se comporta para que a transferência das informações a um dispositivo externo se torne mais confiável.

Várias pesquisas vêm sendo feitas utilizando a técnica de EEG, como os estudos e desenvolvimento de equipamentos que trabalham a concentração como forma de terapia para o estresse ou perturbações do sono, nas Artes alguns Artistas trabalham com esses equipamentos, como ferramentas para produzir arte interativa, como é o caso de Kiel Long (*Mind Pool*, 2012), Lisa Park (*Enoia II*, 2015), Alex Anpilogov (*On Your Wavelength*, 2015), Luciana Hail (2014).

2.2.1 – EEG INVASIVA

Os estudos com EEG invasiva estabelecem uma comunicação entre as ações de comando do cérebro e dispositivos eletrônicos. E para tal foram feitos vários testes em animais, em particular no cérebro de primatas, onde foram treinados a reagir a partir de estímulos visuais com movimentos específicos.

Essa técnica teve início com os estudos realizados na década de 1960 pelo cientista alemão Eberhard Fetz (1940). Wolpaw (2007) argumentou que o cientista analisava neurônios localizados no córtex motor primário, associados ao processo de movimento corporal.

A análise desses sinais permitiu determinar o intervalo entre o início das atividades das células do córtex e dos músculos envolvidos no processo, possibilitando também analisar o impacto das regiões cerebrais nas áreas do corpo relativas às posições onde os membros do corpo se encontravam e à sua força motora.

Uma contribuição para a utilização da técnica de EEG em humanos foi o estudo do cientista Edward Schmidt, que em 1980, utilizando o EEG invasivo em animais para tentar obter o controle de sistemas através das ondas cerebrais. Dessa maneira, foi possível aprimorar a técnica para ajudar seres humanos com diversos tipos de paralisia, onde podiam se comunicar por meio de interfaces funcionais.

A utilização da técnica invasiva, conforme visualizada na figura 28, é utilizada em procedimentos médicos quando é necessário a captação de dados com o mínimo de perda de sinais e diminuição de ruídos deixando o sinal mais limpo, porém, por se tratar de uma técnica invasiva se faz necessário o procedimento cirúrgico, no qual o cérebro precisa ser exposto para a colocação dos eletrodos.

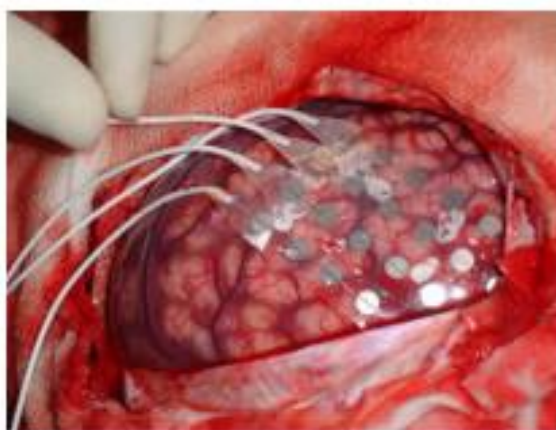


Figura 28. EEG invasiva.

Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/14331490/89/images/16.jpg>

Apesar das leituras de sinais desta técnica fornecerem informações mais detalhadas sobre o funcionamento dos neurônios, ela foi apresentada nessa dissertação apenas para conhecimento, visto que, em nenhum momento dessa pesquisa utilizei técnicas invasivas. O foco desta pesquisa está na técnica de EEG – Não Invasiva, que será apresentada no próximo tópico.

2.2.2 – EEG NÃO-INVASIVA

Segundo Wolpaw (2007) os primeiros estudos com a EEG não-invasiva foram realizados durante os anos 1960, e permitiram que pessoas controlassem os seus níveis de concentração e atenção por meio de um *feedback* (resposta) advindo do uso de EEG. As ondas são produzidas principalmente quando estamos acordados de olhos fechados, e estão associadas à inativação de áreas do córtex que não estão sendo utilizadas, assim pessoas foram capazes de controlar os padrões das ondas alfa (frequências mais baixas) através de técnicas de relaxamento.

A utilização do EEG como método não invasivo, é relativamente fácil e permite, por meio de eletrodos colocados no escalpe, o registo da variação da atividade elétrica do cérebro originada pela condução do impulso nervoso. Sendo este um meio auxiliar de

diagnóstico neurológico é um método de investigação em neurofisiologia que permite determinar que áreas cerebrais surgem associadas a que tipo de estímulos ou respostas. Para esta pesquisa, criei a expectativa da possibilidade de observar diferenças no mapeamento cerebral quando pessoas são submetidas a estímulos visuais.

A vantagem deste método é que não necessita da introdução de eletrodos no interior do crânio ou mesmo de qualquer tipo de procedimento cirúrgico. Captei os sinais diretamente na superfície do couro cabeludo, como demonstrado na figura 29.



Figura 29. EEG Não-Invasiva, 2015.
Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Esta técnica é menos precisa quando se trata de qualidade de sinal e mesmo quanto ao maior nível ruído produzido, por outro lado é mais simples e é a que melhor se adapta a qualquer pessoa, por esse motivo a utilizei neste trabalho como fonte de captação de sinais de EEG.

Como citado, foram obtidos sinais com uma largura de banda limitada, suscetíveis a sobreposições e interferências de sinais diversos. Entretanto, a técnica possui aplicabilidade suficiente para ativar comandos computacionais como mover cadeiras de rodas motorizadas ou braços mecânicos robotizados. Pode ser também utilizada para intervenções de curta duração, como na recuperação nos acidentes vasculares cerebrais, nos casos em que não justifiquem o risco de uma cirurgia e também em aplicações comerciais, de entretenimento e de projeto artístico, como é o caso desta dissertação.

2.3 – O POSICIONAMENTO DOS ELETRODOS

Para a realização de uma coleta efetiva do sinal eletroencefalográfico e, também, para padronização do posicionamento dos eletrodos, todo o estudo foi baseado no Manual de Pensionamento do Sistema (2012). Dito isto, adotei o método 10/20, sendo esse um dos mais utilizados atualmente. O sistema recebe esse nome pois os eletrodos possuem uma relação entre a localização de um eletrodo e a linha subjacente do córtex cerebral. O número 10 ou 20 refere-se ao fato de que a distância entre os eletrodos adjacentes é de 10% ou 20% do valor total da linha frente-trás e lado esquerdo-direito. Cada região é representada por uma letra, para diferenciar cada uma delas, como é mostrado na Tabela a seguir.

Eletrodo	Região
F	Frontal
T	Temporal
C	Central *
P	Parietal
O	Occipital

Figura 30. Nome do eletrodo em relação a sua região, 2012.
Fonte: Manual de Posicionamento do Sistema 10/20, 2012.

Além das letras, os números também acompanham, sendo que os pares compõem o hemisfério direito e os ímpares o hemisfério esquerdo. Determinadas partes anatômicas são usadas para fazer a medição que segundo o Manual de Pensionamento do Sistema (2012) são: o nasion que é a posição entre a testa e o nariz, o ínion que é o ponto mais baixo da parte de trás do crânio e os pontos pré-auriculares que estão antes da orelha. O primeiro passo é medir do ínion ao nasion e marcar metade desta distância. O próximo passo é marcar 10% desse valor acima do nasion e do ínion, acompanhando a linha central. Em seguida é marcar 20% da última marcação e assim por diante. A marcação látero-lateral segue a mesma lógica. A figura 31 ilustra o método citado.

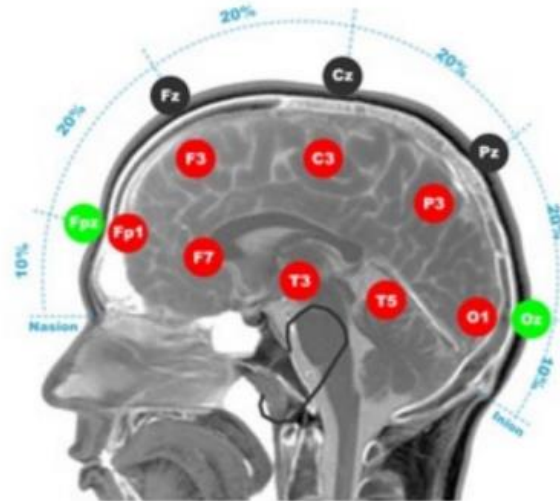


Figura 31. Sistema 10/20, 2012.

Fonte: Manual de Posicionamento do Sistema 10/20, 2012.

Neste trabalho, utilizei apenas três pontos na região occipital do crânio: O1, O2 e Oz, como destacados com uma seta alaranjada na figura 32.

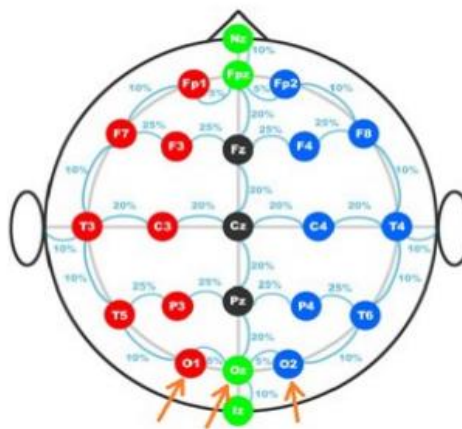


Figura 32. Sistema 10/20 – Distância entre eletrodos, 2012.

Fonte: Manual de Posicionamento do Sistema 10/20, 2012.

Após a coleta do sinal de EEG, obtive para análise uma grande quantidade de informações. Assim segundo WEBSTER (2009), as ondas foram decompostas e analisadas de maneira específica. O sinal do EEG foi categorizado segundo a sua frequência, como pode ser visto na figura a seguir.

Nome da faixa de frequência	Banda de frequência (Hz)
Delta	0.1 a 3
Beta	4 a 7
Alpha	8 a 12
Low Beta	12 a 15
Mid-range Beta	15 a 18
Hight Beta	15 a 18
Gamma	40

Figura 33. Bandas de frequência de sinais de um EEG, 2012.
 Fonte: WEBSTER, J. Medical instrumentation: application and design. 2009.

Cada categoria possui características únicas quanto ao tipo de atividade ou estado mental. O estudo desse trabalho será focou na análise das frequências compreendidas dentro da banda alfa e beta. A banda beta, com frequências entre 4 a 7Hz, tem uma distribuição usualmente regional, podendo envolver vários lóbulos, esses de caráter lateral ou difusa. Essa faixa representa um estado mental de vigília, alerta, onde o cérebro está ativo, podendo, isso, caracterizar um estado de estresse e ansiedade. A banda alfa, com frequências entre 8 a 12Hz, tem uma distribuição regional, podendo envolver lóbulos inteiros e com forte sinal na região occipital. Representa um estado mental de relaxamento, meditação ou quando estamos em sono profundo (WEBSTER, 2009). Para Ward, os sinais neurais alfa, são de média frequência e são percebidas durante atenção plena, meditação e quietude mental. Outro caso de aumento do nível alfa é enquanto ocorre a busca de informações no cérebro, como quando uma pessoa tenta memorizar uma lista de palavras (WARD, 2003).

Apesar do sinal EEG parecer ser um tanto quanto irregular, os padrões de funcionamento cerebral possuem características distintas e se mostram em situações diferentes. As ondas alfas, são melhores captadas na região occipital, são sinais que aparecem com maior intensidade em sujeitos normais, inativos e que estejam acordados de olhos fechados. O formato da onda geralmente é arredondado ou sinusoidal (TAVARES, 2011). Porém, no presente estudo a parte occipital foi estimulada frequentemente pelo sistema cíclico de *biofeedback*, conceito que será explicado mais adiante.

Um indivíduo tetraplégico, por exemplo, que esteja despertando do sono, ao acordar e abrir os olhos, o padrão de ondas alfa irá sofrer uma alteração, a qual se captada

por um equipamento poderia soar um alarme para alertar o seu cuidador, para poder levar a pessoa para o banheiro por exemplo. Desse modo, podemos perceber que a estimulação tanto dos olhos fechados quanto abertos, causam picos diferentes nos sinais captados. A figura 34 mostra as diferentes formas de onda de acordo com o estado mental.

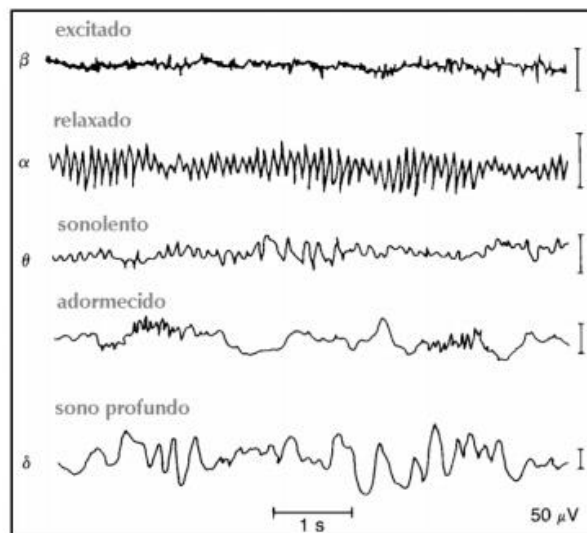


Figura 34. Bandas de frequência de sinais de um EEG, 2012.
Fonte: TAVARES, M. C. EEG e potenciais evocados: uma introdução, 2017.

Sabendo-se disso, o foco dessa pesquisa está no córtex visual, onde percebemos essas variações e picos de ondas por meio dos estímulos visuais e a resposta do interator pelo *biofeedback* à *ciberinterface*, fazendo assim um sistema cíclico de estímulo, processamento e resposta (looping).

2.4 – FREQUÊNCIAS DOS SINAIS NEURAI (RITMOS)

Sinais de EEG podem ser utilizados para a análise dos ritmos cerebrais, relacionados tanto a certos estados mentais quanto a doenças do sistema nervoso (SANEI; CHAMBERS, 2007). Estes ritmos são, na verdade, sinais com características de amplitude e frequência relativamente definidas (apesar destas características variarem de acordo com alguns fatores, como por exemplo a idade), o que possibilita a identificação das mesmas por especialistas ou por sistemas automatizados.

Os principais ritmos cerebrais são descritos a seguir. Onde mostro um resumo com as principais características dos ritmos cerebrais e faixas de frequências (SANEI; CHAMBERS, 2007).

• **Ritmo Delta:** apresenta faixa de frequência característica entre 0,5 a 4 Hz, e está associada principalmente com o estado de sono profundo, porém pode também estar presente no estado em que o indivíduo está acordado (BLINOWSKA; DURKA, 2006). Por apresentar frequência relativamente baixa, é facilmente confundida com outros sinais de origem não cerebral, como a atividade muscular, causados por movimento dos grandes músculos do pescoço e mandíbula que estão próximos à pele (logo, estes sinais estão sujeitos a uma menor atenuação do que a sofrida pelos sinais gerados no cérebro) (SANEI; CHAMBERS, 2007).

• **Delta**

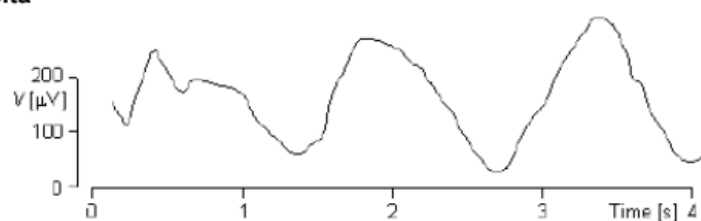


Figura 35. Ritmo Delta.
Fonte: Adaptado de Bear, 2008.

• **Ritmo Theta:** possui frequência na faixa de 4 a 7.5 Hz, e aparece na transição do estado consciente para o estado de sonolência. Este ritmo está também associado a acessos ao inconsciente, inspiração criativa e meditação profunda. Normalmente é acompanhado de outras frequências, e parece estar relacionado ao nível de motivação (SANEI; CHAMBERS, 2007).

• **Teta**

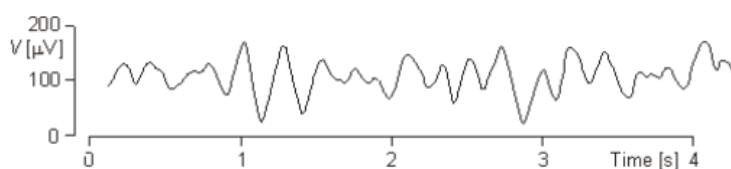


Figura 36. Ritmo Theta.
Fonte: Adaptado de Bear, 2008.

• **Ritmo Alpha:** este ritmo aparece na região occipital do cérebro, e está situado na faixa de frequências entre 8 a 13 Hz. Este ritmo parece indicar um estado de relaxamento, sem

qualquer atenção ou concentração. Muitos indivíduos apresentam este tipo de onda com os olhos fechados, razão pela qual chegou a afirmar-se que o ritmo alpha não passa de um estado de espera produzido pelas regiões do cérebro relacionadas a visão (SANEI; CHAMBERS, 2007).

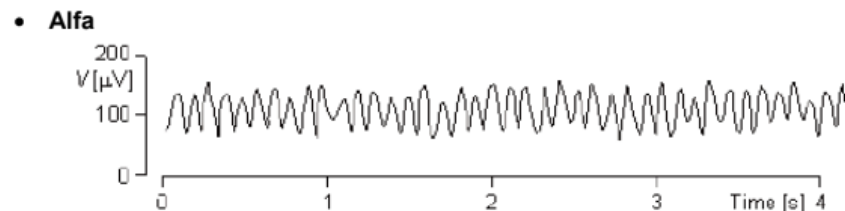


Figura 37. Ritmo Alfa.
Fonte: Adaptado de Bear, 2008.

• **Ritmo Beta:** Ritmo de frequência na faixa de 14 a 26 Hz relacionado aos estados de atenção e pensamento ativos, foco no mundo exterior ou resolução de problemas concretos. Um nível alto de ritmo deste tipo é encontrado em indivíduos no estado de pânico. Quanto à localização, o ritmo beta pode ser medido principalmente nas regiões frontal e central do escalpo. Os ritmos Beta podem ser suprimidos por atividades motoras ou por estímulos táteis (SANEI; CHAMBERS, 2007).

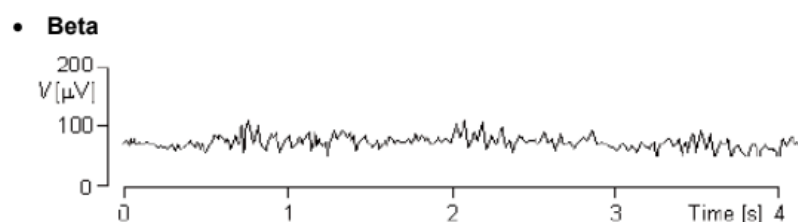


Figura 38. Ritmo Beta.
Fonte: Adaptado de Bear, 2008.

• **Ritmo Gamma:** Ritmo com frequência acima de 30 Hz (principalmente até 45 Hz). Embora bastante raro e de baixa amplitude ($< 2\mu V$), este ritmo pode ser um bom indicativo de sincronização associado a evento (SANEI; CHAMBERS, 2007; GROSSEWENTRUP; SCHOLKOPF; HILL, 2011).

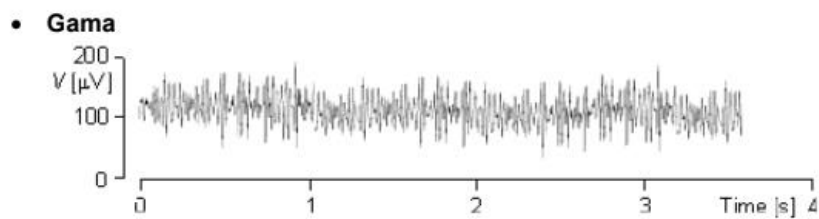


Figura 39. Ritmo Gama.
Fonte: Adaptado de Bear, 2008.

• **Ritmo Mu:** ritmos Mu são um tipo especial de ritmo alpha que são observados dentro da faixa de frequências entre 9 a 11 Hz. Estão quase sempre presentes quando o sujeito está relaxado e desaparecem quando o sujeito move uma mão ou um dedo no lado contralateral, ou seja, os ritmos mu desaparecem sobre o hemisfério esquerdo do cérebro quando a mão direita é movida e vice-versa (FELZER, 2001). Assim, esta banda de frequência pode ser associada com o movimento da mão (e também com a imaginação do movimento da mão) e pode ser utilizada para distinguir entre os movimentos de cada uma das mãos (SANEI; CHAMBERS, 2007).

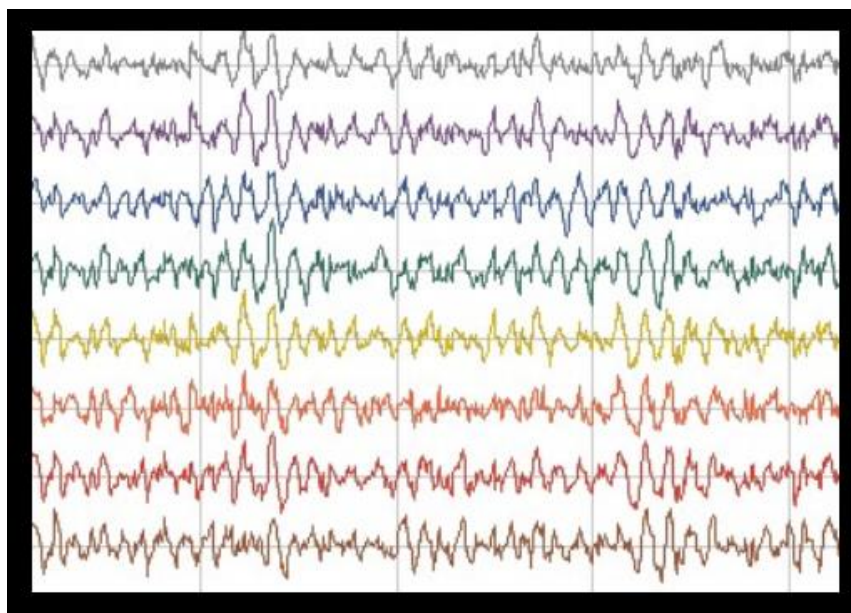


Figura 40. Registro de ondas Mu.
Fonte: Adaptado de Dossiê Ondas Mu.

2.5 – PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS SINAIS

As frequências captadas foram amplificadas e filtradas por um aparelho de EEG para remoção de ruído que poderia atrapalhar a leitura dos sinais, que foram convertidos de analógicos para digitais.

Neste processamento digital apliquei algoritmos matemáticos para transformar os dados obtidos, os quais se apresentam com características diversificadas, transformando-os em informações básicas.

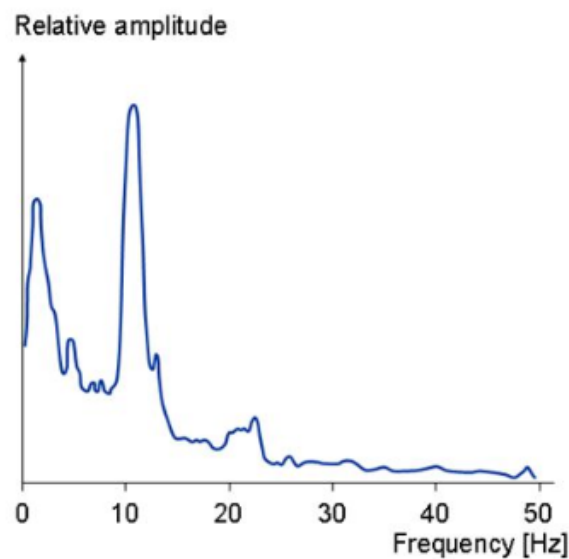


Figura 41. Espectro de frequência de um EEG normal: bandas.

Fonte: <https://slideplayer.es/slide/images/17/Espectro+de+frecuencia+de+un+EEG.jpg>.

Assim, o conjunto de características dos sinais passou por um processo de classificação para o reconhecimento de padrões, fazendo sobressair dados específicos, como no caso do aparelho utilizado neste trabalho (Amplificador diferencial de 2 canais).

O Teorema de Nyquist é importante para o desenvolvimento de codificadores de sinais analógicos → digitais porque estabelece o critério adequado para a amostragem dos sinais.

Nyquist provou que, se um sinal arbitrário for transmitido por meio de um canal de largura de banda B Hz, o sinal resultante da filtragem poderá ser completamente

reconstruído pelo receptor por meio da amostragem do sinal transmitido, a uma frequência igual a, no mínimo $2B$ vezes por segundo. Esta frequência, denominada Frequência de Nyquist, é a frequência de amostragem requerida para a reconstrução adequada do sinal.

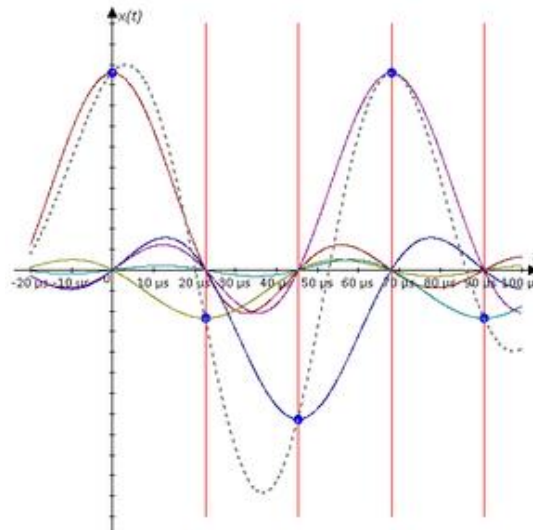


Figura 42. Exemplo de frequência de amostragem – teorema de Nyquist.

Fonte: <https://upload.wikimedia.org/Sinusoidal14700Hz.png/300px-Sinusoidal14700Hz.png>

Assim, a captura de sinais por meio não invasivo se apresentou mais interessante para a criação da *ciberinterface* proposta neste trabalho. Entretanto, o sinal obtido pela EEG não invasiva é de baixa magnitude. Isto se deve tanto ao fato das distâncias percorridas entre os neurônios e os eletrodos, como pelo fato de os mesmos estarem em contato com cabelos e couro cabeludo, além do crânio, que os sinais precisam atravessar para serem captados pelo amplificador, para isso utiliza-se um gel eletrocondutor, para facilitar a captura dos sinais pelos eletrodos.

Pois foram melhor aproveitados aqueles sinais provenientes de grandes grupos de células neurais, como no caso da região occipital do cérebro, e onde o eletrodo do amplificador estava fixado. Independentemente se a estimulação foi por meio artificial ou não, o resultado foi semelhante aos outros aparelhos mais sofisticados que se encontram no mercado para venda, no caso de ser utilizado para criação de ICMs.

2.6 – BIOFEEDBACK

A palavra “*biofeedback*” foi cunhada no final da década de 1960 para descrever os procedimentos, desenvolvidos desde 1940, para treinamento que alteram a atividade cerebral, pressão sanguínea, tensão muscular, frequência cardíaca e outras funções corporais que voluntariamente não seriam controladas (ANDREASSI, 1995).

O *biofeedback* é o método de tratamento que utiliza instrumentos para o monitoramento. O *biofeedback* opera com a noção de que os indivíduos têm a habilidade inata e potencial de influir no funcionamento automático de seu corpo por meio do empenho e vontade, o que vem mostrando eficácia para controlar variedade de eventos fisiológicos.

De forma resumida, o *Biofeedback* é uma técnica que objetiva ensinar o sujeito a realizar o autocontrole de uma resposta fisiológica ou autônoma específica, mediante a retroalimentação constante da informação sobre a função que se deseja controlar, captada por um dispositivo que monitora, amplia e informa ao sujeito, em tempo real, a variação e influência que ele está exercendo sobre a referida resposta alvo, fornecendo-lhe um feedback visual ou auditivo. (WEINBERG, GOULD, 2001, p. 276).

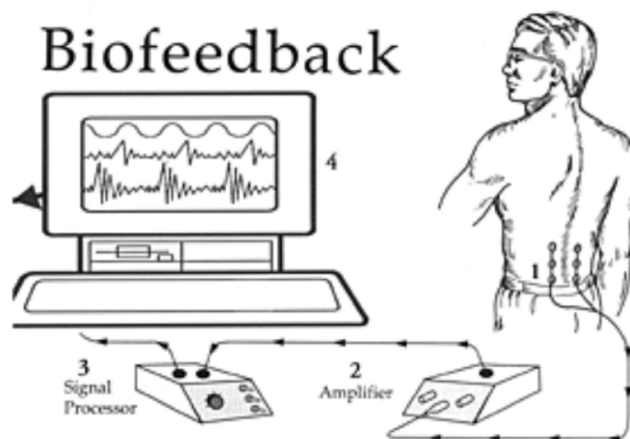


Figura 43. Esquema biofeedback.
Fonte: Adaptado de researchgate.net.

Os estudos sobre o *biofeedback* tiveram sua origem em distintos campos de investigação. Por um lado, os estudos sobre condicionamento instrumental ou operante de respostas autonômicas - aqueles que se baseiam no paradigma operante – sustentam que o indivíduo modificará sua conduta sobre a base de recompensas e punição. Assim, mudança favorável no estado fisiológico poderá ser considerada como reforço positivo

que levará o indivíduo a consolidar a conduta para alcançar e manter seu estado. Por outro lado, aqueles que argumentam sobre controle de ritmos corticais e aprendizagem de habilidades motoras aplicam o paradigma cibernético, isto é, o princípio da bio-retroinformação (SARNOFF, 1983; VENNEMAN, 1991; ARENA e BLANCHARD, 1997; SILBERSTEIN, 1997).

“Cibernética” vem do grego *kybernetiké*, que literalmente significa “a arte de governar”. Essa ciência foi definida originalmente por Norbert Wiener como a “ciência do controle e a comunicação de sistemas complexos (computadores, seres vivos)”, ainda que sua versão moderna (Pask, Von Foster) se refira a ela como o estudo das relações (de organização) que os componentes de um sistema devem ter para existir como uma entidade autônoma. (MATURANA, VARELA, 2001 p. 36)

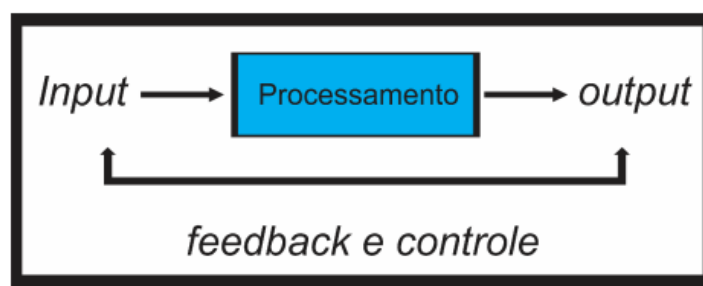


Figura 44. Esquema retroalimentação cibernética.
Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Porém, a investigação que marcou a origem da utilização dos procedimentos de *biofeedback* constituiu-se de estudos sobre controle de habilidades motoras e de ritmos eletroencefalográficos, onde se aplicavam princípios cibernéticos da teoria de controle de sistemas (BASMAJIAN, 1972; MULHOLAND, 1977; BASMAJIAN, 1985). Sabendo-se da importância da cibernética, Maturana e Varela afirmam,

Foi justamente nesse contexto de pesquisa que se descobriu o princípio do feedback ou de retroalimentação (que autorregula a atividade interna do próprio sistema); esta e outras descobertas posteriores deram um grande impulso ao desenvolvimento das máquinas automáticas e ao incremento de sua complexidade (computadores). (MATURANA, VARELA, 2001, p. 36)

A metodologia utilizada na técnica de *biofeedback* segue quatro aspectos fundamentais em toda investigação psicológica: variável dependente, variável

independente, variáveis estranhas e procedimentos. Tanto para a investigação como para o tratamento clínico, a variável dependente pode ser qualquer resposta fisiológica do sujeito. A variável independente mais importante em *biofeedback* é o modo de apresentação do sinal ao sujeito. Dentre das variáveis estranhas, estão as reações dos sujeitos participantes do estudo, as condições e estímulos ambientais (SCHNEIDER e WILSON, 1985; SCHMID e PEPER, 1998).

Do ponto de vista metodológico a técnica do *biofeedback*, como toda técnica psicofisiológica, depende diretamente da captação, amplificação e registro confiáveis, ou seja, da qualidade técnica do decodificador e não somente das variáveis fisiológicas que se deseja modificar. É fundamental considerar o tipo de sinal biológico de que se trate, características dos eletrodos ou transdutores, território de colocação sobre a pele, tipo de amplificador e nível de amplificação, controle de ruído, calibração, possível transformação do sinal, seleção de parâmetros apropriados, registro gráfico, tipo de *feedback* e modalidade sensorial.

3. CAPÍTULO III - PROCESSOS PARA CRIAÇÃO DA CIBERINTERFACE

O objetivo deste capítulo é a apresentação dos procedimentos necessários a modificação da linguagem de programação e ao desenvolvimento da *ciberinterface* com o dispositivo de *biofeedback* (EEG), efetuados via agentes computacionais. Sendo assim, apresento a produção das imagens criadas com a interação do usuário baseadas nos estudos de frequência e ressonância (Cimática). Mostro também, o sistema escolhido, o dispositivo usado e suas particularidades, assim como, os pré-requisitos para a funcionalidade desse sistema.

A necessidade de interagir de modo mais abrangente com as obras artísticas, foi o que motivou a criação das ICMS. Dessa maneira, pude entender essa necessidade do usuário em imergir nos ambientes interativos sejam estes, virtuais ou físicos, co-criar no ato de interação, segundo Edmonds (2004), o interessante agora é pensar em “sistemas de arte”, onde vários campos se unem, e trocam conhecimentos para produzirem uma arte interativa. Percebi a variedade de campos de conhecimento que trabalham juntos para a produção de uma arte tecnológica envolvendo a ICM. Nesse estudo, a ICM se expressou na representação visual de imagens compostas pelos algoritmos escritos por meio de regras de comportamento predeterminado na linguagem computacional em questão.

A ICM aqui proposta teve o intuito de relacionar as frequências do córtex visual do usuário com as modificações visuais que surgirão por meio da programação computacional, por meio da captura e processamento dos sinais do córtex visual, de modo que o usuário pode mudar o ambiente observado a partir de estímulos visuais que surgiram de maneira cíclica para ele mesmo, ou seja, ele enviou sinais ao sistema e o sistema enviou de volta ao mesmo, formando um *looping* de informações. Por fim, os dados obtidos pelo dispositivo são processados pelo software Processing, que é acionado a partir dos dados de entrada, gerando saídas previamente especificadas por meio da programação efetuada na aplicação, sendo programadas para criar padrões aleatórios de imagens baseadas na Cimática.

3.1 - HARDWARES E SOFTWARES

Alguns *softwares* e *hardwares* foram necessários para desenvolver a interface, para a aquisição dos sinais de EEG utilizei um amplificador de sinais diferencial analógico de dois canais, desenvolvido pelo departamento de engenharia biomédica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e que foi cedido como parte colaborativa para esta pesquisa. Dessa maneira, foi importante o uso desse aparelho, pois uma prioridade dessa pesquisa foi a união de vários campos do conhecimento (colaborações interdepartamentais entre Artes, Neurociência e Engenharia de *software*). Sabendo-se disso, o amplificador diferencial foi suficiente para a captação de sinais do córtex visual, que é a área de interesse desta pesquisa. O dispositivo é composto de um leitor de EEG que utilizou taxas de amostragem do eletrodo de 128 Hz, frequência de onda suficiente para coleta dos dados necessários para a conclusão da pesquisa.

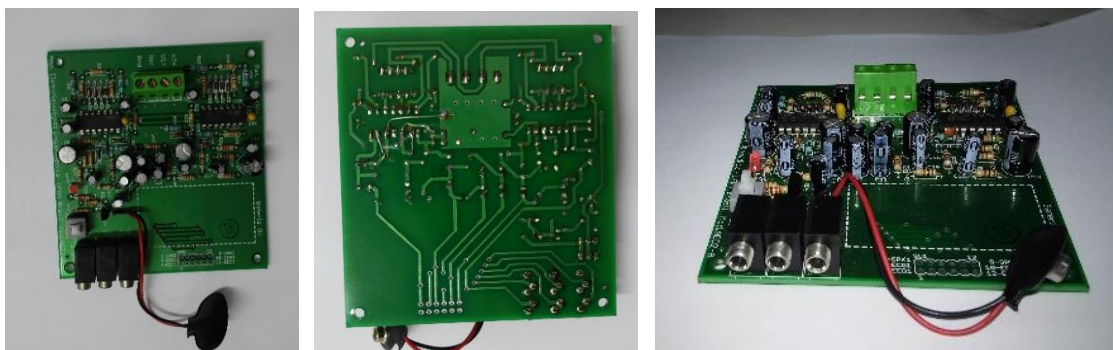


Figura 45. Amplificador de sinal diferencial analógico de dois canais.
Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Como o aparelho foi cedido exclusivamente para a pesquisa aqui proposta, futuramente serão necessárias novas parcerias, para desenvolver novos amplificadores, tendo em vista a possibilidade de usar a placa de Arduino para tal fim, visto que agora ela tem suporte para amplificador de sinais biológicos.

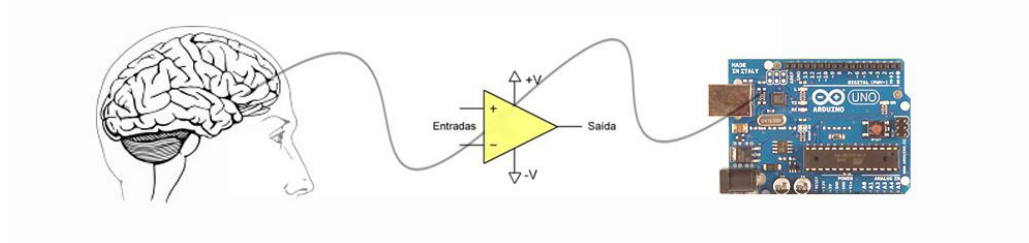


Figura 46. Possível aplicação de captação de sinais cerebrais pelo Arduino.
Fonte: http://ordemnatural.com.br/images/KW_banner-5.png.

Ainda existe possibilidade de adquirir outros dispositivos disponíveis comercialmente (*neuroheadsets: Neurosky, Emotiv, Open BCI*), observando, obviamente, a viabilidade de custo, a possibilidade de patrocínios ou mesmo de arrecadação coletiva, pois esses aparelhos comerciais possuem uso restrito de seus sistemas e seu custo é alto. Tal preocupação se justifica para que os trabalhos que surgirão a partir dessa interface cibernética, possam ter autonomia ou liberação irrestrita dos equipamentos usados, pois se pensarmos em uma exposição de obras, cada instalação interativa que usar esse sistema, deverá possuir, além do amplificador, todo o aparato que faz o sistema funcionar e para isso devo ter opções mais viáveis como o Arduino citado anteriormente.

Também usei um *notebook*, com o processador Intel Core i5 dual core e o processador gráfico Intel HD Graphics 5500, 8Gb de memória (RAM), sistema operacional de 64 bits – *Windows 10 Home*. Esse equipamento possui um custo alto, porém agora a tecnologia pode possibilitar outras opções, nesse caso, poderia substituir o *notebook* por placas *Raspberry Pi 3*, pois os novos modelos além do custo mais viável, eles suportam sistemas operacionais como o *Windows* e possuem entradas para o tipo de captação que é necessário para um trabalho com *biofeedback*.



Figura 47. Raspberry Pi 3.
 Fonte: <https://www.raspberrypi.org/>.

O meu interesse agora é evoluir a linguagem de programação de *Pure Data* (PD) para a linguagem baseada em JAVA (linguagem mais acessível atualmente, onde a maioria dos dispositivos a utilizam, podendo ser adaptada desde um computador a um celular - *smartphone*), para isso, o *software Processing* foi usado para transcodificar os sinais cerebrais captados pelo dispositivo EEG. É importante dizer que o *Processing* é um programa *Open Source* (de código aberto), construído especificamente para a produção das artes eletrônicas e projetos visuais para pessoas que não são, necessariamente, programadores.



Figura 48. Programa Processing.
 Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Inicialmente a linguagem em sistema *Processing* surgiu em 2001, era utilizada para servir como auxiliar visual a quem se iniciava na programação, mas o programa evoluiu, e hoje é uma poderosa ferramenta capaz de agilizar o processo de criação de imagens, animações, vídeos e sons.

Para que o sistema funcione, uma aplicação é compilada pelo *Processing* para rodar em máquina virtual (*software* de ambiente computacional, que executa programas como um computador real, também chamado de processo de virtualização.), sendo compatível com diversos sistemas operacionais. Seus códigos podem ser exportados para serem rodados em navegadores de internet ou diretamente em sistema operacional de aparelhos celulares. O sistema é atualmente usado por estudantes, artistas e cientistas de diversas áreas.

O *Processing* possui um recurso de *sketchbook* que são áreas padrão (pastas localizadas em `:/documentos/processing`) para salvamento dos programas criados no ambiente do *Processing*. Possibilitando uma melhor organização de projetos. Ao programar em *Processing* todas classes adicionais definidas serão tratadas como classes internas quando o código é traduzido para Java puro antes de compilar. Isso significa que o uso de variáveis e métodos estáticos em classes é proibido a menos que você diga que deseja o processamento para o código no modo de Java puro.

Portanto, esses foram os requisitos técnicos e as tecnologias utilizadas que deram vida à interface apresentada no tópico a seguir.

3.2 – SURGIMENTO DA CIBERINTERFACE

Esta pesquisa tem caráter interdisciplinar, visto que procura a colaboração de diferentes áreas do conhecimento (Artes, Neurociências, Engenharia de *software*), investigando e experimentando os novos meios tecnológicos. Um dos conceitos que norteiam essa pesquisa é a cibernética, que, segundo Wiener (1948), analisa a comunicação e o controle entre diversos tipos de sistemas, no caso em questão, o sistema humano-máquina na produção de arte interativa. Nesse sistema Artístico interativo é importante o uso de programas computacionais e o dispositivo de *biofeedback* que é o amplificador de sinais baseado em eletroencefalografia (EEG), responsável pelo envio dos sinais transmitidos pelo cérebro.

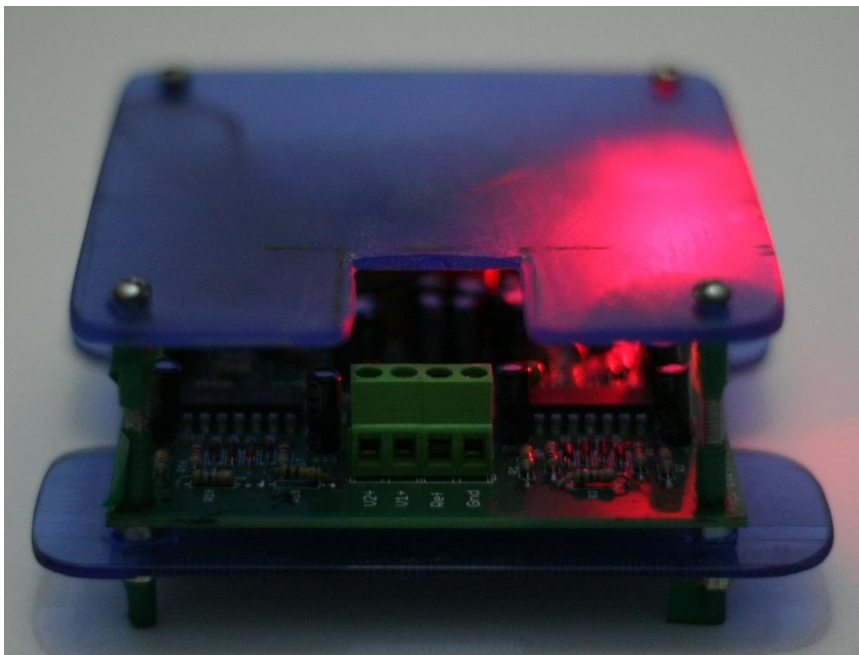


Figura 49. Amplificador de Sinais.
Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Essas ondas foram enviadas ao sistema computacional que digitalizou o sinal, pois, segundo Manovich (2001), “a conversão de dados contínuos para uma representação numérica é chamada de digitalização”. Essa representação numérica proporciona a manipulação dos dados por meio da ferramenta de arte computacional ou programa. Dessa maneira,

o novo objeto de mídia é a manipulação algorítmica. Por exemplo, através da aplicação de algoritmos apropriados, podemos remover automaticamente “ruídos” de uma fotografia, melhorar o contraste, localizar o contorno das formas, ou alterar suas proporções. Em suma, a mídia torna-se programável. (MANOVICH, 2001, p. 49, tradução nossa).

Com essa ideia de programação, pude manipular no computador os dados amplificados pelo EEG e definir de maneira adequada como esses dados foram interpretados e representados no dispositivo de saída (output) tela ou projeção, visto que cada objeto de mídia possui uma espécie de padrão, que segundo Levy Manovich,

(...) pode ser chamado de “estrutura fractal das novas mídias.” Assim como um fractal tem a mesma estrutura em diferentes escalas, um novo

objeto de mídia tem o mesmo módulo em toda sua estrutura. Elementos de mídia sejam imagens, sons, formas, ou comportamentos, são representados como conjuntos de amostras discretas (pixels, polígonos, voxels, personagens, roteiros). Estes elementos são reunidos em objetos de maior escala, mas eles continuam a manter a sua identidade distinta. (MANOVICH, 2001, p. 51, tradução nossa).

De acordo com o pensamento de Manovich (2001), e sabendo que um Fractal é gerado por um padrão de repetição e sabendo-se que as estruturas fractais estão presentes na natureza (padrões naturais, Cimática), é partindo desse princípio, que os padrões recorrentes da interação do usuário (ondas cerebrais mapeadas pelo EEG) são transformados em imagens por meio do programa de arte computacional.



Figura 50. Fractal natural do floco de neve e de uma planta.
Fonte: Adaptado de escolakids.uol.com.br.

Durante esta pesquisa um dos colaboradores, o cientista da computação Allan Rocha Mendes que me apresentou a Transformada de Fourier (TF), que é um conceito matemático que tem como uma de suas aplicações o processamento de imagens digitais. A TF decompõe um sinal em suas componentes elementares seno e cosseno de diferentes frequências, amplitudes e fases. A transformada de Fourier de uma função unidimensional pode ser entendida para uma função bidimensional. E assim tem-se o seguinte par de transformadas de Fourier:

$$F(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) \exp[-j2\pi(ux + vy)] dx dy \quad (10)$$

e a partir de $F(u,v)$, pode-se obter $f(x,y)$ através da transformada inversa de Fourier

$$f(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u,v) \exp[j2\pi(ux + vy)] du dv \quad (11)$$

Figura 51. Par da Transformada de Fourier.

Fonte: <http://www2.ic.uff.br/~aconci/filtragemdominiofrequencia.pdf>

Dessa maneira, pensei em fazer uso da TF, pois se ela for capaz de transformar uma imagem do domínio espacial para o domínio de frequência, logo ela seria capaz de fazer o contrário.

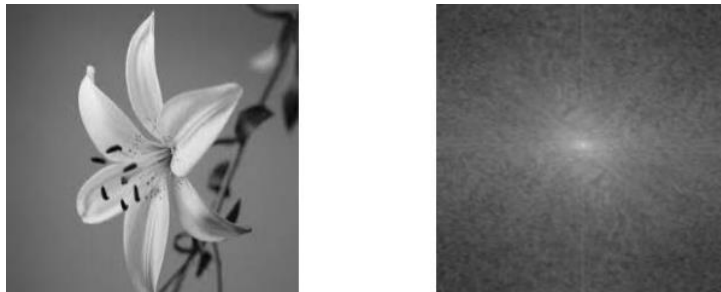


Figura 52. transformada de Fourier, imagem original e imagem transformada.

Fonte: <http://www.dm.ufscar.br/dm/attachments/article/6/TCCJosiana.pdf>

Quando busquei mais informações a respeito desse conceito matemático, descobri a existência da Transformada Inversa de Fourier (TIF) que tem a função de fazer o sinal decomposto voltar ao seu estado original.

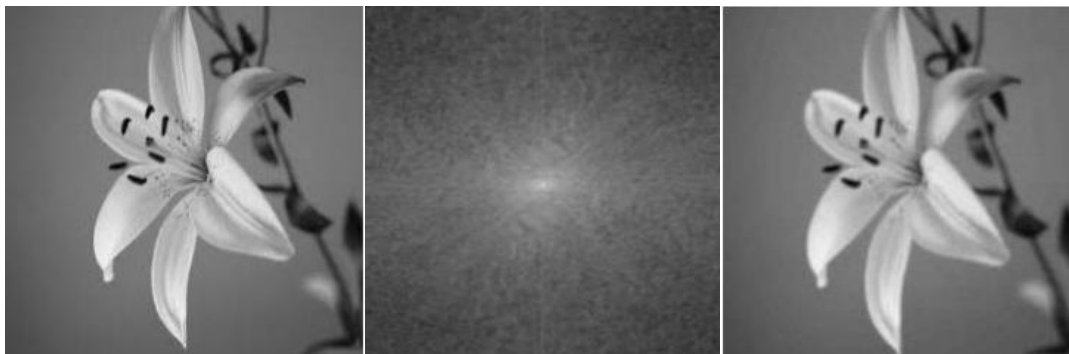


Figura 53. Transformada Inversa de Fourier, imagem original, transformada e Transformada Inversa.

Fonte: <http://www.dm.ufscar.br/dm/attachments/article/6/TCCJosiana.pdf>

Na busca por esses conhecimentos, descobri que a Transformada de Fourier já era usada na base de dados de vários programas que processam imagens, e que, com o uso desse conceito, as ondas cerebrais captadas pelo EEG poderiam ser traduzidas em imagens.

Dessa maneira, o programa escolhido anteriormente era o Pure Data (PD) – (<http://puredata.info/>), que é um ambiente de programação gráfica para áudio e vídeo usado como ambiente de composição interativa e como estação de síntese e processamento de áudio em tempo real. E os resultados obtidos não corresponderam a demanda almejada (figura 54) no presente trabalho, e por isso a necessidade de ampliar o sistema e sua programação, para que obtivéssemos resultados gráficos próximos aos fractais naturais – gerados de forma virtual.

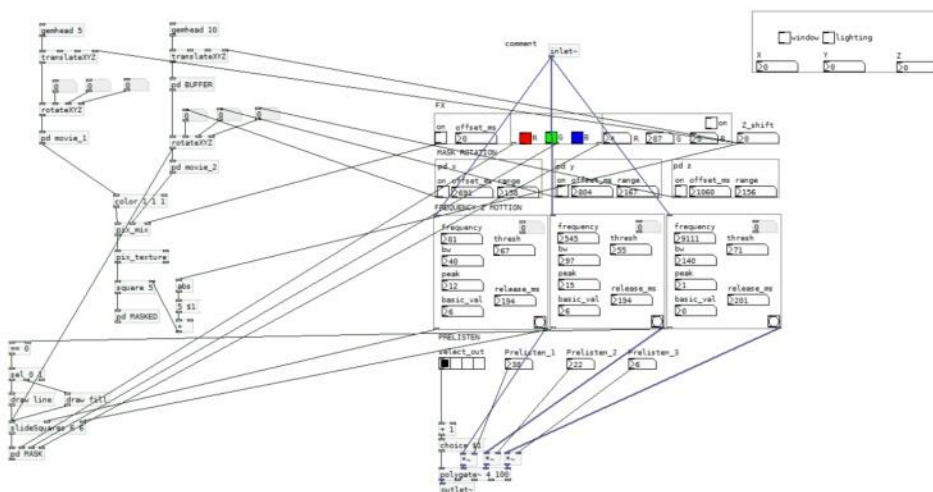
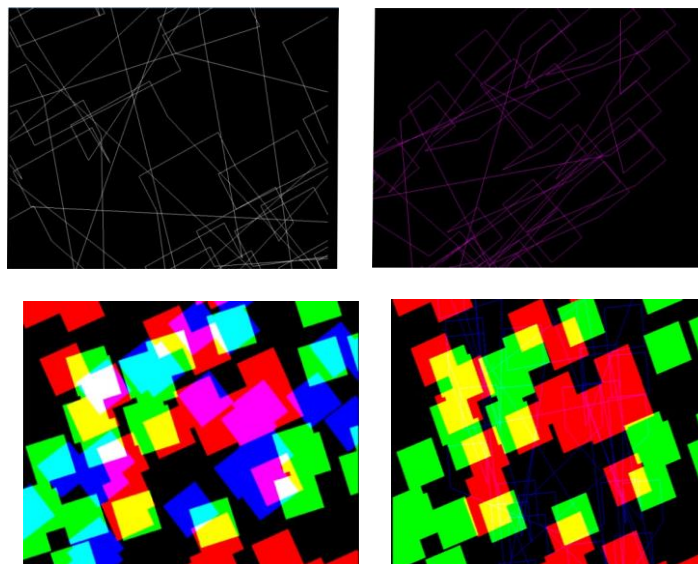


Figura 54. Patch de teste com as interligações de caixas de comando no PD e imagens geradas.
Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Essa pesquisa exigiu o meu envolvimento com a programação computacional, que foi e continua sendo, até o momento, o maior desafio desse projeto, já que são poucos os artistas que trabalham com essa plataforma, colaboradores da área da programação foram de fundamental importância, como a ajuda do Analista de sistemas, especialista em segurança da informação, Luiz Henrique. O lado bom, é que sempre existe uma troca de conhecimentos e o aprendizado obtido servirá para a criação de mais projetos nesse segmento; logo, sinto que é necessário ao artista que deseja trabalhar com Arte e Tecnologia tem de ter domínio também dos recursos que pretende usar em seus trabalhos.

Optei por usar o *software Processing* que esta baseado em uma linguagem de programação de código aberto, orientada para a criação de visualizações gráficas. Foi construído para as artes computacionais e para projetos visuais com o objetivo de oferecer codificações em contexto visual, atuando como uma ferramenta para não programadores (mas que necessita de um estudo aprofundado em suas bases), com a visualização imediata de padrões visuais. Esse aspecto tem por base as capacidades gráficas do programa em sua linguagem de programação Java, simplificando características de criações visuais. Vale destacar que, o autor não possuía qualquer conhecimento com a linguagem de programação do *Processing* no momento em que o projeto de pesquisa foi iniciado.

Durante os estudos feitos com o programa *Processing*, consultei tutoriais na comunidade dos usuários do programa (<http://forum.processing.org/one/programming-questions.html>), espaço virtual que o próprio site disponibiliza a seus usuários para troca de informações. No entanto, ao invés de soluções, isso trouxe mais problemas, devido ao fato de os tutoriais consultados serem avançados para um iniciante, então, descobri que existia um passo a passo disponibilizado no site do *Processing*, assim como no site de compartilhamentos de vídeos *YouTube* – (www.youtube.com) desse modo, encontrei uma sequência de videoaulas para iniciantes em *Processing*, ministradas em idioma inglês, por um dos desenvolvedores, possibilitando, assim, o aprendizado com a interface desse programa.

Porém, as funções e comandos básicos não eram suficientes para a necessidade exigida pelo trabalho em questão. No *Processing*, o aprendizado desses conceitos básicos tomou muito tempo, em razão da dificuldade de compreensão, pela falta de familiaridade com a programação do programa do micro para o macro, o que comprometeu a evolução dos estudos e, por sua vez, foi motivo de frustração, porém eu sabia que com a colaboração correta isso poderia ser resolvido e isso aconteceu com a colaboração do Luiz Henrique citado anteriormente, que apesar de não conhecer o *Processing*, conhece muito bem a linguagem JAVA na qual o programa se baseia.

Foi necessário, então, tentar aprender o programa de outra maneira. Visto que a comunidade do *Processing* disponibiliza seus códigos nas comunidades e fóruns, por se tratar de um programa de código livre (*Open Source*), fiz *downloads* de alguns, com o intuito de descobrir as funções de comandos específicos, assim, aprendi comandos mais complexos. Quando foi preciso saber como fazer para criar uma linha de código que abre e toca um arquivo de música, fiz uma busca na comunidade por uma biblioteca (*Player* de música) específica, disponível na rede e realizei o download do arquivo e consequentemente seu código de programação.

Tendo em vista o que foi preciso, a maior preocupação foi fazer com que o *Processing* reagisse a um som externo, que seria captado pela entrada do microfone do computador. Após descobrir os comandos que realizavam essa função, parti então para uma fase teste. Fiz um visualizador com ajuda de códigos disponíveis na comunidade, nos quais, ao serem emitidos sons em frequência preestabelecida que o microfone do computador conseguisse captar, o *Processing* reconhecia esse som (*Input*) e assim, o visualizador reagiu a esse som graficamente.

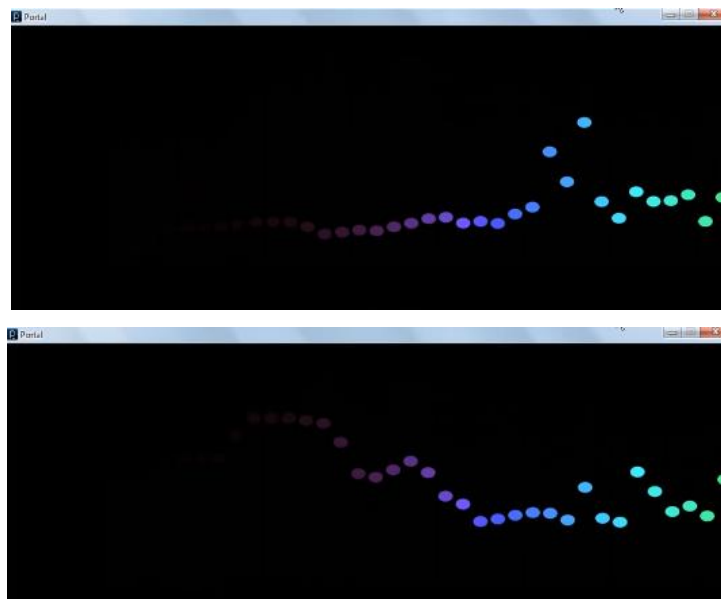


Figura 55. Processing - Visualizador gráfico de som.
Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

A necessidade de ativar a interatividade pelo microfone ocorreu em função de que o Amplificador de Sinais, mostrado anteriormente, utilizou a entrada de microfone para levar os sinais do cérebro ao computador. Feito isso, busquei maneiras de produzir gráficos animados no *Processing*, para poder trabalhar uma linha de código que gerasse gráficos o mais próximo das formas fractais naturais ou padrões Cimáticos. Esse foi o momento mais difícil de todo o trabalho e continua apresentando desafios, considerando que, esta é uma pesquisa contínua e que pode abranger outros desdobramentos. Sendo assim, conseguimos os primeiros resultados imagéticos, e demos sequência a ativação pelos sinais neurais. Os procedimentos descritos a seguir, mostram a maneira que o amplificador foi usado e os outros materiais básicos para o funcionamento dessa interface.

3.3 – CAPTAÇÃO DE SINAIS NEURAI E MATERIAIS BÁSICOS PARA FUNCIONAMENTO DA INTERFACE

Para o registro da atividade cortical, foi utilizado um Amplificador Diferencial Analógico de dois canais que envia os dados para a entrada de áudio (estéreo) do computador com o programa Processing ativo, onde esses dados serão digitalizados.

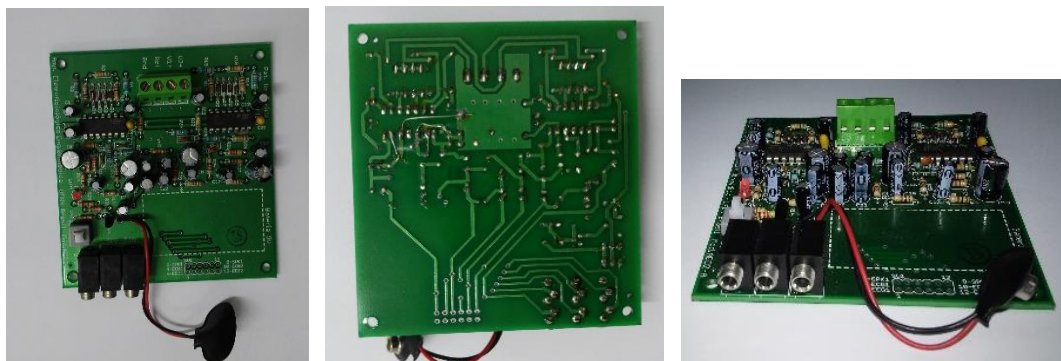


Figura 56. Amplificador Eletrofisiológico Engenharia Biomédica UFRN.

Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

O amplificador possui quatro entradas, que podem ser colocadas nas posições de captação de sinais EEG, usando o sistema 10/20, citados no capítulo anterior. Para esta pesquisa só me interessou duas entradas, que foram a V1 (Canal 1) ou V2 (Canal 2) mais a Ref. (Referência) onde são medidas as diferenças de potencial.



Figura 57. Imagem aproximada dos canais de entrada do Amplificador.

Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Os códigos podem ser reescritos e modificados, surgiu a necessidade de o sistema ser calibrado com o amplificador de sinais, para que a resposta fosse cada vez mais precisa, em razão de que, nos primeiros momentos o sistema apresentou um atraso no processamento para resposta ao som.

Apesar de todas as dificuldades quanto a programação, decidi colocar o amplificador para funcionar em conjunto com o sistema e assim testá-lo da maneira adequada. Ao invés da ativação por voz, utilizei a ativação por meio do *biofeedback*, e de

eletrodos colocados seguindo o padrão de posicionamento 10/20 da técnica de EEG, para que o sistema capturasse a atividade elétrica passada pelo córtex visual.

A busca pelos materiais que fazem parte da *ciberinterface* foi essencial para a continuidade do trabalho. Foi necessário criar algo para proteger o amplificador de sinais, considerando que, a placa do amplificador não poderia ficar totalmente exposta para evitar contato e choques que a danificariam.

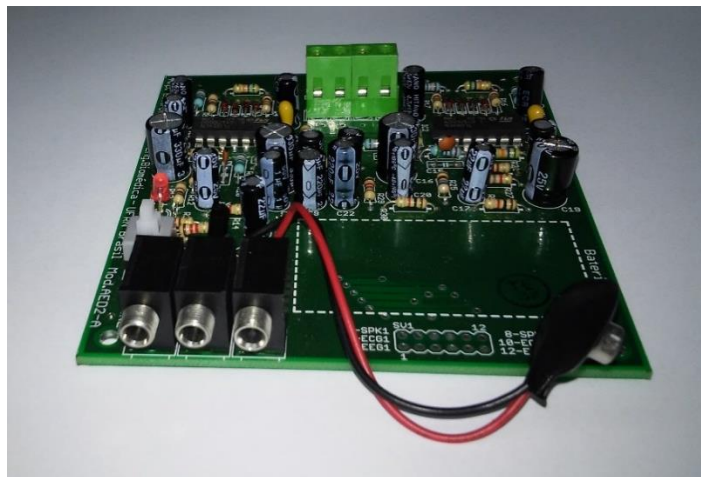


Figura 58. Amplificador Eletrofisiológico.
Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador 2018.

Improvisei um revestimento a base de acrílico, com parafusos para proteger o amplificador. Tudo feito de modo artesanal, com materiais encontrados em papelaria e material de construção. Porém, com o recurso da impressora 3D eu poderia ter impresso uma caixa com material adequados para esse propósito. Percebi que investimentos e colaborações, são essenciais para se atingir um modelo ideal para esse sistema.

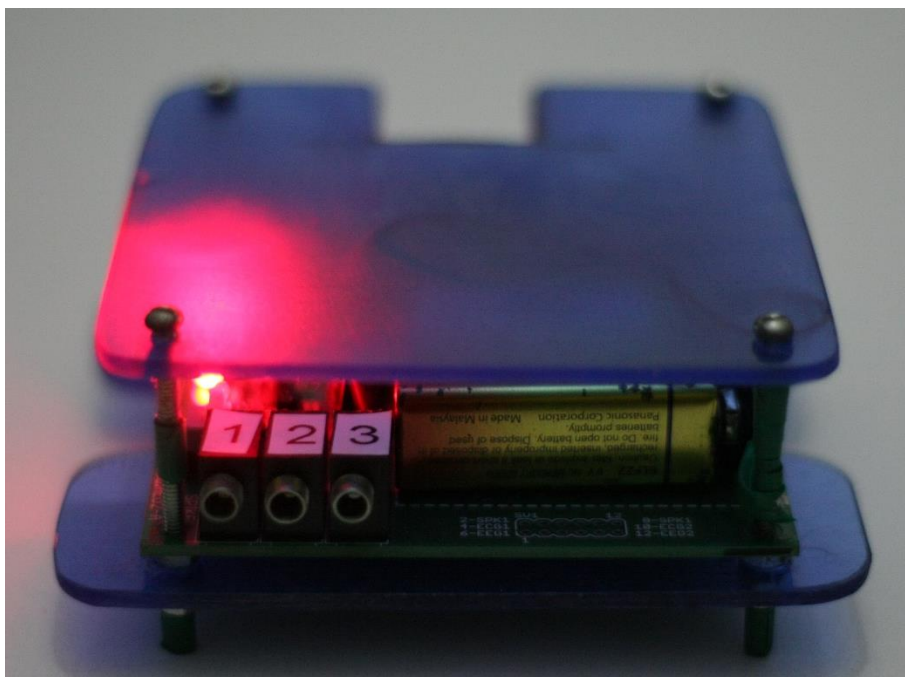


Figura 59. Amplificador de sinal com revestimento protetor.

Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Logo depois de proteger o Amplificador de Sinais, foi preciso testá-lo, e para isso foi necessário adquirir outros materiais, comprei um cabo P2 – P2, que se encontra em qualquer loja de material eletrônico.



Figura 60. Cabo P2-P2.

Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador 2018.

Dando sequência a busca de materiais, adquiri eletrodos descartáveis de monitoração da 3M para a captação dos sinais.

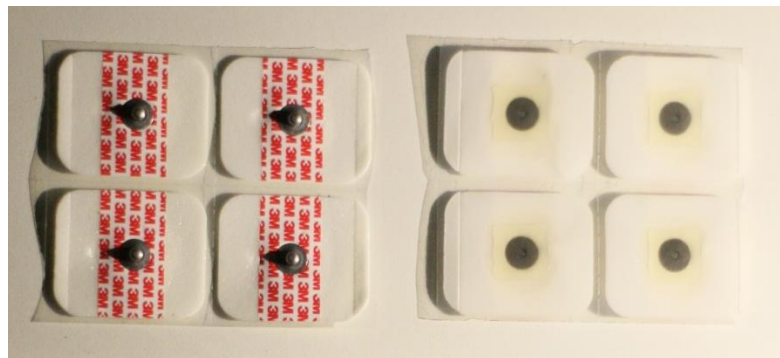


Figura 61. Eletrodos 3M.
Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

E ainda o gel eletrocondutor, para ajudar na transmissão da corrente elétrica entre o eletrodo e a corrente emitida pelo cérebro, considerando que os cabelos também interferem na captação dos sinais, ou seja, o gel facilita a condução do sinal para o eletrodo. Em seguida apliquei o teste.



Figura 62. Gel condutor.
Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Posteriormente, refiz todos os cabos com fios blindados, para fixar os fios de maneira adequada com *plugs* jacaré de tamanhos adequados.



Figura 63. Cabos blindados, soldados e plug jacaré.

Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Ainda fiz uma tiara elástica, com material acessível (elástico, velcro, linha e agulha), para ajudar a fixar os eletrodos ao crânio, visto que o cabelo atrapalha a fixação por meio de adesivo.



Figura 64. Tiara elástica, para fixar eletrodos no escalpo.

Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Coloquei um eletrodo (seguindo o modelo 10/20) de referência no ponto de referência “Cz”, e outro eletrodo na posição “Oz” (referente ao córtex visual). E, dessa maneira, o sistema reagiu da forma esperada



Figura 65. Primeiro teste com sistema funcionando.
Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Feito os ajustes necessários, dei continuidade ao experimento, concluindo que, uma vez que a Transformada de Fourier (TF) decompõe séries temporais, como a que foi utilizada nesse trabalho com o eletroencefalograma (EEG), em componentes senoidais de diferentes frequências, é adequada para estimar a potência instantânea desses sinais em determinadas gamas de frequências.

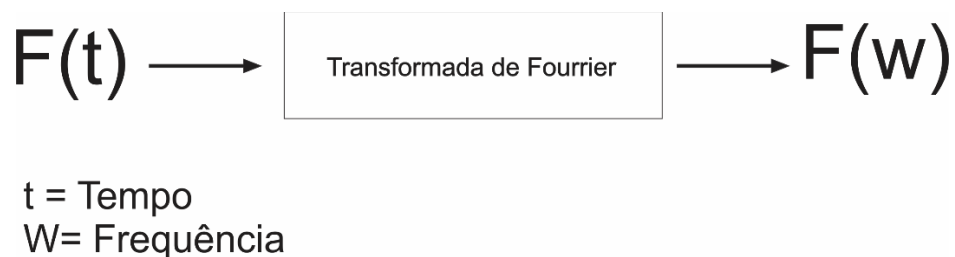


Figura 66. Transformada de Fourier.
Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Apliquei a TF ao período mais recente de dados, P, calculando a amplitude dos seus coeficientes e elevando-as ao quadrado. O conjunto de coeficientes da TF, determinados ao longo do espaço de frequências, foi designado por espectro do sinal. Quanto maior o

comprimento de P, por um lado, mais fiel era a estimação da potência do sinal; por outro, mais lentamente se detectava alterações que ocorriam nas características espectrais dos sinais a analisar. Esse parâmetro foi ajustado de acordo com as características dinâmicas sensoriais desejadas para a malha de *feedback* que gerou as imagens.

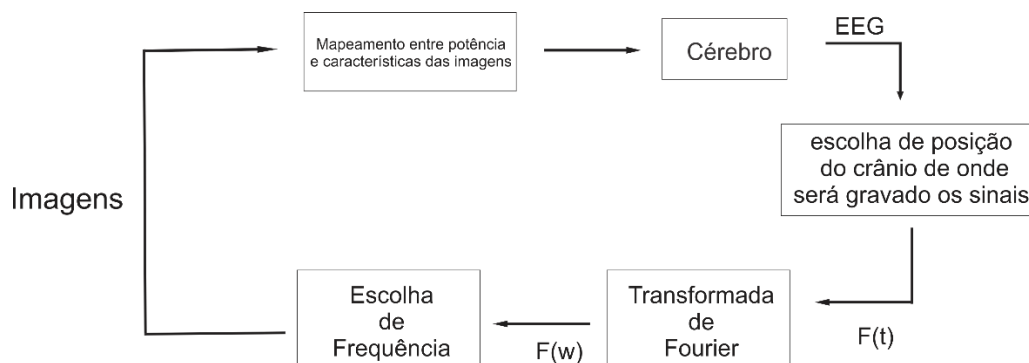


Figura 67. Esquema de processamento da ciberinterface.

Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador.

Por fim, como a pesquisa está em desenvolvimento constante, novos paradigmas surgirão e novas metodologias serão aplicadas, durante os processos criativos desse tipo de Arte. Tentando atingir objetivos cada vez mais promissores no campo da Arte Tecnologia, visto que esse sistema ainda tem muito a ser explorado. A minha expectativa é de que futuramente essa aplicação seja mais viável e que possibilite e auxilie também outras áreas, como terapia comportamental que pode utilizar esse sistema para tratar ou diagnosticar problemas relacionados a concentração, estresse entre outros.

3.4 – RESULTADOS COM A PRODUÇÃO DE IMAGENS

Os resultados imagéticos obtidos com a *ciberinterface*, surgiram a partir de uma poética particular, após observar os padrões geométricos, desenhos naturais como os fractais e os padrões Cimáticos, que estão presentes na natureza e no universo, devido ao fato de que tudo está vibrando em uma determinada frequência. Considerando que o cérebro está em constante atividade, pude perceber que estamos emitindo vibrações para o universo a todo momento de nossas vidas. Se estamos em constante comunicação com o universo por meio dessas ondas, e sabendo que quando dois corpos vibram na mesma frequência e podem gerar essas formas naturais, essa poderia ser uma forma de linguagem? E a comunicação entre nós e o universo poderia ser capitada e visualizada?

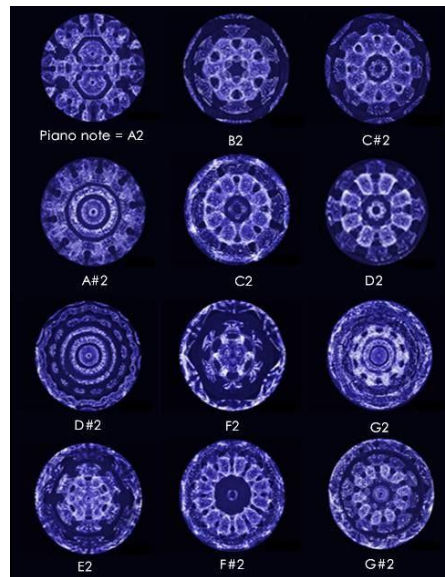


Figura 68. Padrões Cimáticos notas musicais vibração em água.

Fonte: Adaptado de Printertest.com.

Após conhecer as formas de Chladni (1756-1827), que usa um experimento de ressonância sonora para produzir padrões de imagens naturais referentes a frequências específicas, pude perceber que era possível criar imagens por meio das frequências do cérebro. Pois, usando recursos tecnológicos, poderíamos amplificar essas ondas para serem lidas pelo computador, tentando dessa forma “simular virtualmente” as figuras naturais que criamos ao nos comunicarmos com o universo.

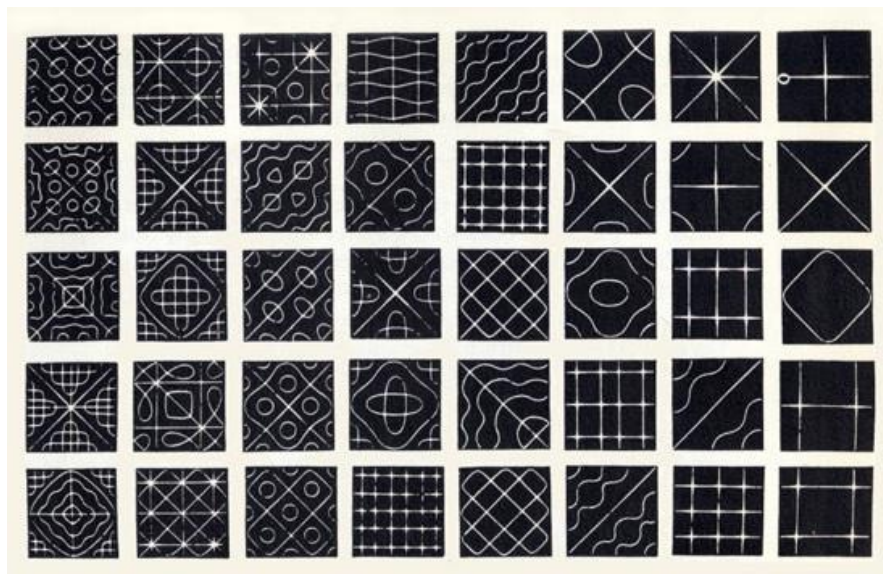
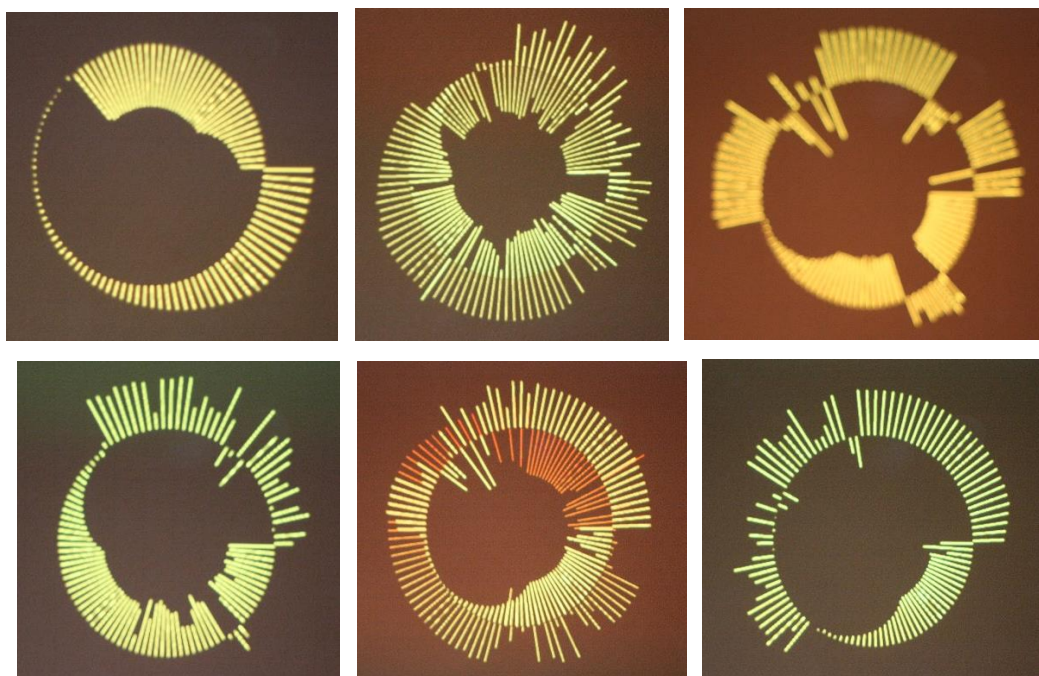


Figura 69. Figuras de Chladni.

Fonte: <https://matematico10curiosidades.blogspot.com/p/figuras-de-chladni.html>.

A ideia surgiu do pensamento anteriormente citado e percebi que não era tão simples, muitos recursos tecnológicos devem ser usados, e para chegar próximo a tal paradigma, deve-se ser criado um sistema de algoritmos muito complexo, com um vasto banco de dados, e se possível o uso de inteligência artificial. Assim como, para se conseguir enxergar esses padrões de formas naturais seria necessária uma tecnologia de medição e visualização que não é viável e nem acessível para esta pesquisa devido a escassez de recursos. Sabendo, das limitações existentes, no decorrer da construção da *ciberinterface*, pude perceber a gama de possibilidades que esse recurso tecnológico proporciona para as Artes Visuais, demonstrarei a seguir imagens obtidas por meio do sistema interativo criado.



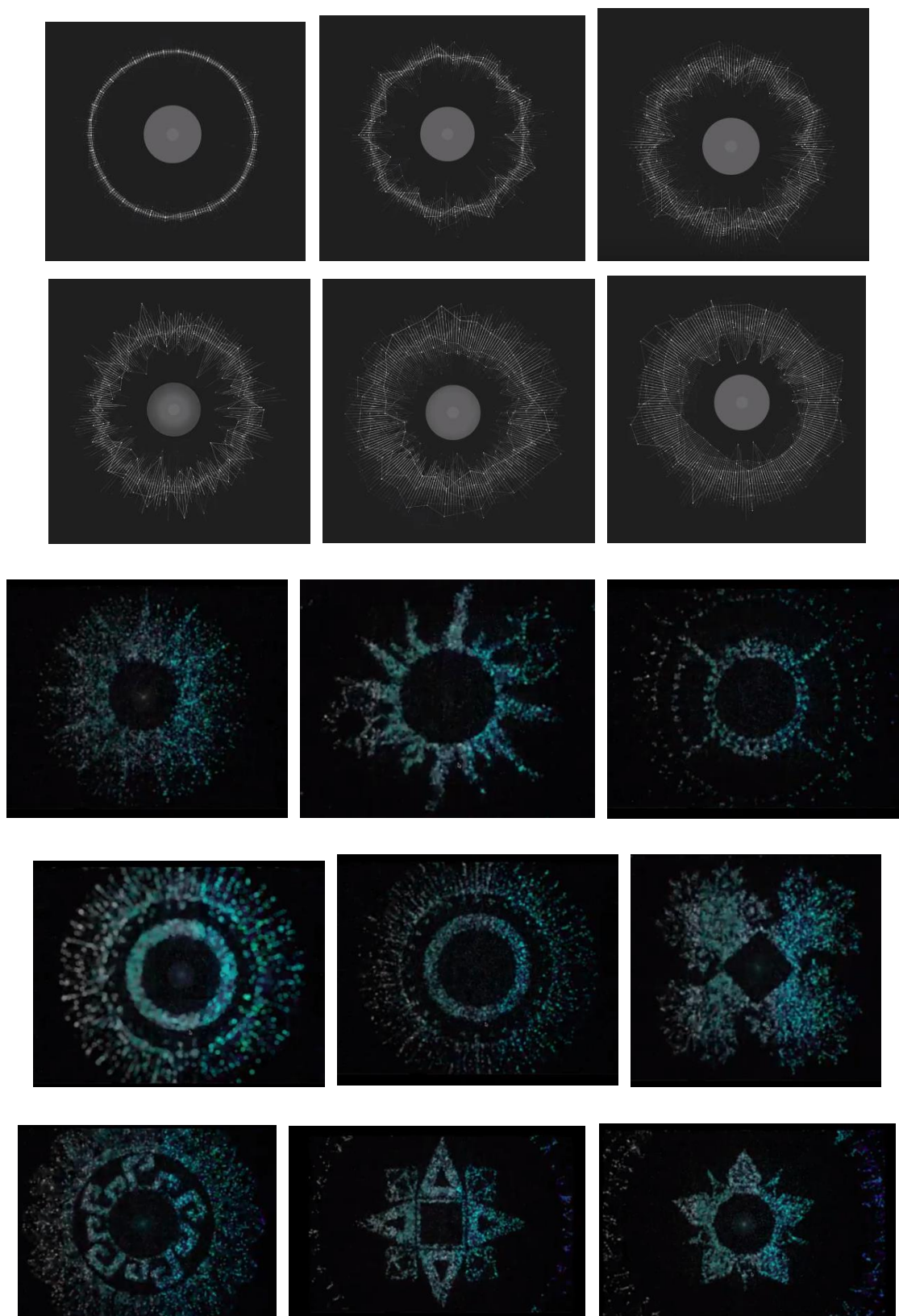


Figura 70. Figuras ciberinterativas.
 Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador 2018-2019.

Apesar das limitações, conseguimos de maneira embrionária criar o princípio do que seria essa ideia, e isso, importante para a continuação dessa pesquisa, e para que os pesquisadores que possuem com o mesmo interesse, assim como, observei que este tipo de plataforma pode possibilitar aplicações em diversas áreas do conhecimento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo descreveu o desenvolvimento da *ciberinterface* neural com dispositivos de *biofeedback*, no qual a interação entre usuário e sistema foi fundamental para seu funcionamento, estão inseridas no contexto das artes computacionais. Esta relação ocorreu não apenas como expressão visual por meio de processos computacionais, mas iniciando como uma poética própria, derivada da utilização de recursos algorítmicos advindos da interação do usuário com o sistema desenvolvido.

Identifiquei que os resultados obtidos por meio da interface construída mostraram que os aparelhos de EEG podem oferecer excelentes resultados e possibilidades criativas para o campo das artes visuais. Mesmo com limitações em relação a captura de sinais, esses sistemas possibilitaram diversos modos de se criar em ambientes computacionais interativos, principalmente, os que tem como objetivo criar interfaces artísticas. Percebi que esse tipo de trabalho está no campo interdisciplinar, pois atrai outras áreas do conhecimento, sendo de fundamental importância no contexto das criações *ciberartísticas* produzidas na atualidade. E que, por sua vez, podem atrair também a atenção para o desenvolvimento de aplicações diversas no campo da robótica, dos games, da comunicação, da reabilitação física, dentre outras.

A utilização de interfaces interativas baseadas em EEG possui a capacidade da aproximação do usuário com a obra, tornando-o co-autor da mesma, por meio de seu processo interativo, sendo induzido a participar sensorialmente em um ambiente computacional. Dessa maneira, a *ciberinterface* é, portanto, vista como poética tecnológica que possibilita a intervenção e o envolvimento efetivo do usuário com o sistema, fornecendo graus diversos de interação.

Busquei mostrar neste projeto, como os sinais emitidos pelo córtex visual, baseados nos sinais do amplificador de sinais, decodificados via *software Processing*, podem influenciar na interação entre o usuário e os padrões imagéticos desenvolvidos.

Neste processo, a *ciberinterface* apresentada foi de encontro a uma estética construída com tecnologias diversas, e que se desenvolve junto com as tecnologias computacionais disponíveis. Para tanto, utilizei códigos disponíveis nos fóruns e comunidade do programa *Processing*, as quais foram manipulados e modificados para o propósito desse estudo, esses códigos alteram as composições imagéticas, no caso em questão, os padrões Cimáticos baseados em formas geométricas naturais (fractais) buscamos mesclar estados neurológicos visuais a essas figuras.

Considero que aplicações diversas podem ser desenvolvidas para produzir interfaces funcionais, em que a participação ativa do usuário na obra faz com que seu processo autopoietico se dê de maneira a instigá-lo ainda mais a interagir.

Esta pesquisa apresentou como resultado a aplicação de frequências cerebrais (córtex visual) capitadas pela técnica de EEG em *Processing* que usa linguagem de programação baseada em JAVA, gerando assim um sistema *biocibernético* interativo e visando incorporar o processo de criação imagética a estímulos e respostas do usuário co-criador. Neste sentido, a reflexão sobre a atividade artística baseada nesta construção poderá fazer surgir novas propostas de projetos e de futuras investigações sobre o assunto.

Para que o desenvolvimento de futuros projetos baseados em *ciberinterfaces* possibilite novas experiências sensoriais por meio de interfaces interativas, é importante criar um banco de dados com os registros dos ritmos cerebrais, pois seria possível mesclar sinais de outras áreas do cérebro para captação de sinais, como por exemplo o córtex motor e auditivo, dessa maneira poderiam ser ativados mais campos dando outras possibilidades a criação de obras interativas.

Uma sequência deste trabalho pode ser o desenvolvimento de uma interface mecânica, uma espécie de mecanismo físico acionado pela mente. Ou mesmo, uma aplicação em ou outra área de conhecimento com a catalogação de padrões visuais (banco de dados) que poderiam auxiliar em diagnósticos de problemas comportamentais, onde o usuário, ao interagir com o sistema, apresenta certa imagem que poderá ser associada a um comportamento, possibilitando o reconhecimento de certos problemas como déficit de atenção, estresse, entre outros. Por fim, esse sistema possibilita infinitas maneiras de criação e modos de aplicabilidade, que deverão ser mais exploradas com os avanços tecnológicos.

Desse modo, pretendo dar sequência a essa pesquisa e buscar melhorar cada vez mais, buscando novas parcerias, assim como dar continuidade da pesquisa acadêmica, em um programa de Doutorado.

Assim, espero motivar o interesse de artistas e pesquisadores na área da Arte e Tecnologia que utilizam sistemas cibernéticos interativos, e o uso da interação por *biofeedback*, já que na contemporaneidade, um dos grandes interesses no campo das artes tecnológicas é o desenvolvimento de novas formas de interação entre usuário e sistema.

5. REFERÊNCIAS

Andreassi JL. **Psychophysiology**: Human behavior and physiological response. 3rd ed. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Inc; 1995. p.388-402.

Arena JG, Blanchar EB. Biofeedback and relaxation therapy for chronic pain disorders. In: Gatchel RJ, Turk DC (Eds.). **Psychological Approaches to Pain management**: A practitioner's handbook. New York: Guilford Press; 1997. p.179-230.

Basmajian JV, DeLuca CJ. **Muscles Alive. Their functions revealed by electromyography**. 5th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1985;127-39.

Basmajian JV. **Electromyography comes of age**. Science. 1972; 197:603-09.

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências**: Desvendando o sistema nervoso. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

Blanchard EB, Jaccard J, Andrasik F, Guarnieri P, Jurish SE. **Reduction in headache patients' medical expenses associated with biofeedback and relaxation treatments.** Biofeedback Self Regul. 1985;10:63-8.

BLINOWSKA, K.; DURKA, P. Electroencephalography (eeg). In: . **Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering.** John Wiley & Sons, Inc., 2006. ISBN 9780471740360. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/9780471740360.ebs0418>>. 43

COUCHOT, Edmond. A arte pode ainda ser um relógio que adianta? O autor, a obra e o espectador na hora do tempo real. In DOMINGUES, Diana (Org). A arte 538Monteiro, R. H. e Rocha, C. (Orgs.). **Anais do V Seminário Nacional de Pesquisa em Arte e Cultura Visual Goiânia-G O:** UFG, FAV, 2012 ISS N 2316-6479 no século XXI – A humanização das tecnologias. São Paulo: Editora da UNESP, 1997.

_____, Edmond. **A tecnologia na arte:** da fotografia à realidade virtual / traduzido por Sandra Rey. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003.

Descartes, Renê. (2000). **As paixões da alma.** São Paulo: Nova Cultural.

Descartes, Renê. (1979a). **O discurso do método.** São Paulo: Abril Cultural.

DEWEY, John. **Arte como experiência.** Tradução Vera Ribeiro. São Paulo: Martins Fontes, 2010.

DOMINGUES, Diana. Desafios da Ciberarte: corpo acoplado e sentir ampliado, in: BARROS, Anna; SANTAELLA, Lúcia, (Orgs.). **Mídias e artes:** os desafios da arte no início do século XXI. São Paulo: Unimarco, 2002.

_____. A vida com as interfaces da era pós-biológica: o animal e o humano. In: DOMINGUES, Diana (Org.). **Arte e vida no século XXI:** tecnologia, ciência e interatividade. São Paulo: Editora Unesp, 2003. p. 95-114.

_____. (A humanização das tecnologias pela arte, in **A Arte no século XXI.** 1ª EDIÇÃO. São Paulo: Editora UNESP, 1997. Introdução, 17-18)

_____. **Arte, Ciência e Tecnologia:** Passado, presente e desafios. São Paulo: UNESP, 2009.

_____. O corpo tecnologizado e o sentir pós-biológico. In **Anais do XII Festival de Arte Cidade de Porto Alegre.** VIII Simpósio de Artes Plásticas. Tecnologias na Arte: Outras Sensibilidades. Porto Alegre: Unidade Editorial, 2001.

FELZER, T. **On the Possibility of Developing a Brain-Computer Interface (BCI).** Alexanderstr. 10, D-64283 Darmstadt, Germany, E-Mail: felzer@informatik.tu-darmstadt.de, 2001. 45.

FLUSSER, Vilém. **Filosofia da Caixa Preta:** ensaios para uma futura filosofia da fotografia. Rio de Janeiro: Editora Relume Dumará, 2002.

GIANNETTI, Cláudia. **Estética Digital**: sintopía del arte, la ciencia y la tecnología. Barcelona: Asociación de Cultura Contemporania L'Angelot, 2002.

GIANNETTI, C. (2006). **Estética digital**: sintopia da arte, a ciência e a tecnologia. Belo Horizonte: C/Arte. Disponível em: <http://artmetamedia.net/pdf/5Giannetti_EsteticaDigitalPORT.pdf>. Acesso em: 2017 nov. 2017.

GRAU, Oliver. **Arte virtual**: da ilusão à imersão. São Paulo: Editora da UNESP; Editora Senac, 2007.

KRAUSS, Rosalind. **A escultura no campo ampliado**. Gávea, Rio de Janeiro, n. 1, 1984.

LEVY, Pierre. **Cibercultura**. Trad. Carlos Irineu da Costa. São Paulo: 34, 1999.

MANOVICH, L. **The language of the new media**. Cambridge: MIT Press, 2001.

Merleau-Ponty, M. (1999a). **Fenomenologia da percepção**. São Paulo: Martins Fontes

Merleau-Ponty, M. (1999b). **O visível e o invisível**. São Paulo: Perspectiva

Merleau-Ponty, M. (2014). **O olho e o espírito**. São Paulo: Cosac Naify.

MURRAY, Janet. **Hamlet no Holodeck**: o futuro da narrativa no ciberespaço. Trad. Elissa Khoury Daher, Marcelo Fernandez Cuzziol. São Paulo: Itaú Cultural: Unesp, 2003.

MURRAY, Janet H. Hamlet no holodeck: o futuro da narrativa no ciberespaço. Trad. de Elissa Jhoury Daher, Marcelo Fernandez Cuzziol. São Paulo: Itaú Cultural: Unesp, 2003.

NIEDERMEYER, E. and F.L.d SILVA, **Electroencephalography**. Baltimore – Munich: Ed. U&S. 1982.

O'REILLY, Sally. **Le corps dans l'art contemporain**. Traduit par Lydie Échasseraud. Paris: Thames & Hudson, 2010.

PRIGOGINE, Ilya. **La nouvelle alliance**. Paris, Gallimard, 1979.

ROCHA, C. S. Interfaces computacionais e experiência sensível. In **Anais do 19º Encontro Nacional da ANPAP** – Associação Nacional de Pesquisadores em Artes Plásticas. Bahia: UDESC, 2010b. (1138-1144)

ROCHA, C. S. **Poéticas interativas**: Estudos de interfaces computacionais. Goiânia: FUNAPE; UFG/Media Lab, 2013. 160 p.: Il. – (Coleção Fast Forward).

ROCHA, C. S. **Da singularidade da arte tecnológica**. Revista VIS (UnB), v. 12, p. 49-55, 2013

ROCHA, Cleomar. *Metáforas, metonímias e outras velhas figuras de linguagem na poética das interfaces computacionais*. In **Anais do 18º Encontro Nacional da**

Associação Nacional de Pesquisadores em Artes Plásticas: Transversalidades nas Artes Visuais. Salvador: ANPAP, 2009. Disponível on-line via URL <http://www.anpap.org.br/anais/2009/pdf/cpa/cleomar_rocha.pdf>. Acesso em 21.abr.11.

ROCHA, Cleomar. **Ciberespaço atomizado e novos modos de pensar a cibercultura.** In: **Revista Z Cultural.** Ano VI, n. 3. Disponível on-line via URL <<http://www.pacc.ufrj.br/z/ano6/3/cleomar.php>>. Acesso em 30.mai.2011

ROCHA, C. Deslumbramentos e encantamentos: estratégias tecnológicas das interfaces computacionais. In **Zona Digital**, Ano I, nº 3, 2011. Disponível em: <<http://zonadigital.pacc.ufrj.br/reflexoescriticas/deslumbramentos-e-encantamentos-estrategias-tecnologiasdas-interfaces-computacionais/>>. Acesso em: 12/10/2018.

SANTAELLA, Lucia. **arte_corpo_tecnologia** / organizadores Monica Tavares ... [et al.] - São Paulo : ECA/USP, 2014. 284 p.

SANTAELLA, Lucia. As artes do corpo biocibernético. In DOMINGUES, Diana (org.). **Arte e vida no século XXI.** São Paulo: Ed. Unesp, 2003.

SANTAELLA, Lucia. **Culturas e Artes do Pós-humano.** Da Cultura das mídias à cibercultura. São Paulo: Paulus, 2003.

SANTAELLA, Lucia. **Navegar no ciberespaço** – o perfil cognitivo do leitor imersivo. São Paulo: Paulus, 2004.

SANTOS, Nara Cristina. Interatividade: o princípio do experienciar. In VENTURELLI, Suzete. **Anais do #7.ART – Arte e Tecnologia:** para compreender o momento atual e pensar o contexto futuro da arte. Brasília, 2008.

SANEI, S.; CHAMBERS, J. A. **Eeg signal processing.** In:_____. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc., 2007. 11, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 58.

Sarnoff DP. The computer as a tool to alter consciousness. **Journal of Creative Behavior.** 1983;17(4):259-66.

Schmid A, Peper E. Strategies for Training Concentration. In Williams JM (ed). **Applied Sport Psychology.** Mountain View: Mayfield Publishing Co.; 1998. p.316- 28.

Schneider CJ, Wilson ES. **Special Consideration for EMG Biofeedback Training.** Wheat Ridge, CO: Foundation of Biofeedback Practice, Biofeedback Society of America. Atlanta; 1985; pp.131-9.

Silberstein SD. **Preventive treatment of migraine:** an overview. *Cephalalgia.* 1997;7:67-72.

TAVARES, M. C. **EEG e potenciais evocados:** uma introdução. Pelotas, RS: Contronic Sistemas Automáticos, c2011. p. 1-13. Disponível em: <<http://www.contronic.com.br/artigo/EEG-e-Potenciais-Evocados-UmaIntroducao.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2017.

TEDESCO, Elaine. **Instalação: Campo de relações**. 2004. Tese (Especialização em Ensino da Arte). Centro Universitário Feevale, UFRGS, Porto Alegre, 2004.

TEHOVNIK E. J. **Slocum en Neuroscience**. J. neuroscience, 2013.

Venneman JA. Effects of thermal and EEG biofeedback on brainwave synchrony. Medical Psychotherapy: An **International Journal**. 1991;4:61-9.

VENTURELLI, Suzete. **Arte: espaço_tempo_imagem**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2004.

_____, Suzete. Imagem interativa / Suzete Venturelli e Mario Luiz Belcino Maciel. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2008.

Ward, L.M. (2003). Synchronous neural oscillations and cognitive processes. Trends in **Cognitive Sciences**, 7a. ed., p. 553-555, 2003.

WEBSTER, J. **Medical instrumentation: application and design**. Nova Jersey: John Wiley, 2009.

WEINBERG, Robert S.. GOULD, Daniel. **Fundamentos da psicologia do esporte e do exercício**. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2001.

Weiner, N. (1993). **Cibernética e sociedade: o uso humano de seres humanos**. São Paulo: Cultrix

6. ANEXO 1 - CÓDIGO ABERTO DO PROGRAMA

```
import ddf.minim.*;

import ddf.minim.signals.*;

import ddf.minim.analysis.*;

import ddf.minim.effects.*;
```

```
Minim minim;
```

```
AudioInput audioIn;
```

```
BeatDetect beat;
```

BeatListener bl;

int amplitudeMultiplier = 500;

int beatSensitivity = 10000;

int r = 200;

float rad = 70;

void setup() {

size(1024, 512, OPENGGL);

minim = new Minim(this);

audioIn = minim.getLineIn(Minim.STEREO, 512);

beat = new BeatDetect(audioIn.bufferSize(), audioIn.sampleRate());

beat.setSensitivity(beatSensitivity);

bl = new BeatListener(beat, audioIn);

}

void draw() {

background(0);

float t = map(mouseX, 0, width, 0, 1);

beat.detect(audioIn.mix);

```

fill(0);

noStroke();

rect(0, 0, width, height);

translate(width/2, height/2);

noFill();

fill(0);

if (beat.isOnset()) rad = rad*50.9;

else rad = 70;

ellipse(0, 0, 25*rad, 25*rad);

stroke(255,255,0);

int bsize = audioIn.bufferSize();

for (int i = 0; i < bsize - 1; i+=5)
{
    float x = (r)*cos(i*2*PI/bsize);
    float y = (r)*sin(i*2*PI/bsize);
    float x2 = (r + audioIn.left.get(i)*100)*cos(i*2*PI/bsize);
    float y2 = (r + audioIn.left.get(i)*100)*sin(i*2*PI/bsize);
    line(x, y, x2, y2);
}

beginShape();

noFill();

stroke(-1, 50);

for (int i = 0; i < bsize; i+=30)
{
    float x2 = (r + audioIn.left.get(i)*100)*cos(i*2*PI/bsize);
    float y2 = (r + audioIn.left.get(i)*100)*sin(i*2*PI/bsize);
    vertex(x2, y2);
}

```

```
pushStyle();  
stroke(50);  
strokeWeight(0);  
point(x2, y2);  
popStyle();  
}  
endShape();  
// if (flag)  
// showMeta();  
}  
  
void stop() {  
  audioIn.close();  
  minim.stop();  
  super.stop();  
}
```