

Da música à imagem: uma experiência interativa com o cérebro

Hugo Barbosa Gonçalves Novo

**Trabalho de Projecto de Mestrado em Artes Musicais: Estudos em
Música e Tecnologia**

Abril, 2013

Trabalho de Projeto apresentado para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Artes Musicais realizado sob a orientação científica de Professora Doutora Isabel Pires.

Para a Cristina Pimenta

AGRADECIMENTOS

Não poderia deixar de começar por agradecer aos meus pais por todo o apoio e incentivo que me deram ao longo da minha vida académica.

À Cristina Pimenta por toda a ajuda, paciência e carinho com que lidou todos os dias ao meu lado.

Ao meu grande amigo neurocientista Carlos Pereira pelo acompanhamento e motivação em relação ao tema que escolhi tratar. Foi durante algumas reflexões com ele que a ideia deste trabalho surgiu.

Ao coletivo μ ARTs, representado pelo Professor Horácio Tomé Marques e o neuropsicofisiologista Francisco Marques-Teixeira que, de uma forma incansável, ajudaram a solucionar diversas questões relacionadas com a operacionalização do projeto. As suas experiências com o Emotiv nos últimos anos foram fundamentais na orientação que o projeto tomou.

À Professora Doutora Isabel Pires pela sua disponibilidade e apoio no desenvolvimento e revisão deste trabalho de projeto.

A todos os amigos que participaram nas experiências realizadas durante os estudos.

Aos colegas de curso, em especial ao Hugo Oliveira e ao Víctor Palma pela amizade e por caminharmos juntos nesta aventura do mestrado.

Finalmente quero agradecer a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para concretização deste trabalho.

RESUMO

PALAVRAS-CHAVE: EEG, BCI, Interatividade, Música, Imagem, Performance

Na última década, com a comercialização para o grande público de aparelhos portáteis de EEG e outros sensores que registam a atividade fisiológica, aplicados à indústria da saúde e dos vídeo jogos, potenciou-se o recurso ao registo *neurofeedback* proporcionando a sua utilização nas mais diversas formas de arte. Em consequência do interesse por estas novas abordagens, surgiu a escolha deste projeto, o qual visa a exploração do potencial do EEG em contexto artístico, nomeadamente na sua aplicação à música e à imagem. A proposta baseia-se no desenvolvimento de uma performance interativa centrada na relação ação/reação dos estímulos originados pela música, permitindo aos três agentes, compositor, intérprete e espectador, interagirem em tempo real. Neste sentido, foi necessário criar um sistema interativo com o recurso a um equipamento da Emotiv EPOC EEG que permitisse a captação da atividade neuronal do espectador, em tempo real, com a intenção de controlar eventos musicais e eventos gráficos, através de um patch construído no software Max/MSP. Para o desenvolvimento do projeto foram definidos dois estudos, em que cada um deles propõe a realização de experiências com diferentes participantes, sendo o objeto do primeiro estudo a análise e recolha de dados da atividade neuronal provenientes de estímulos musicais, e do segundo estudo à verificação do funcionamento de todo o sistema interativo idealizado para a futura performance.

ABSTRACT

KEYWORDS: : EEG, BCI, Interactivity, Music, Image, Performance

In the last decade, due to the commercialization to the general public of portable EEG and other sensors that record the physiological activity, related to health industry and video games businesses, an increasing use of neurofeedback record took place, providing its use in several art forms too. As a result of the interest aroused by these new approaches, it was made the decision of choosing this project, which aims at exploiting the potential of EEG in an artistic context, particularly in its application to music and image. The proposal is based on the development of an interactive performance focusing on action/reaction of the stimuli generated by the music, allowing the three agents, the composer, the performer and the spectator to interact in real time. Therefore, it was necessary to create an interactive system, using an Emotiv EPOC EEG equipment that could allow the capture in real time of the viewer's neuronal activity, with the goal of controlling music and graphic events, through a patch built in Max/MSP. In order to develop this project, two studies were defined, each one proposing the conduction of several experiments with different participants; the object of the first study is to analyse and collect data of neuronal activity from musical stimuli; and the second is to check the functioning of the interactive system designed for the future performance.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Escolha do tema	2
1.2	Interatividade: Questões e objetivos	3
1.2.1	Síntese dos objetivos delineados	7
1.3	Hipótese: Interação entre compositor, intérprete e espectador	7
1.4	Metodologia: Planificação e desenvolvimento	9
2	O estado da Arte e as tecnologias associadas	12
2.1	EEG –Eletroencefalograma	13
2.1.1	Sinais EEG – História e desenvolvimentos	13
2.1.2	As ondas cerebrais	15
2.2	Biofeedback e BCI’s	17
2.3	Emotiv e outros equipamentos EEG	19
2.4	Música e emoções	21
2.5	Aplicação em contexto artístico	23
3	Desenvolvimento do projeto	27
3.1	Considerações preliminares	27
3.2	O projeto	28
3.2.1	Composição musical	28
3.2.1.1	Escolha e estrutura musical	29
3.2.1.2	Construção do <i>patch</i> sonoro em Max/MSP	31
3.2.2	Concepção visual	32
3.2.2.1	Escolha e intenções gráficas	33
3.2.2.2	Construção do <i>patch</i> gráfico em Jitter	34
3.2.3	Recepção e análise	35
3.2.4	Arquitetura do sistema	37
3.2.4.1	Aquisição e processamento do sinal neuronal	37
3.2.4.2	Comunicação de dados entre softwares e equipamentos	39
4	Estudos	41
4.1	Estudo 1	41
4.1.1	Recolhas realizadas com o Emotiv	43
4.1.2	Problemáticas	46
4.2	Estudo 2	47
5	Conclusão e direções futuras	49

Bibliografia	51
Glossário	54
Lista de figuras	56
Apêndice A	57
Anexo 1	60

1 INTRODUÇÃO

O estudo desenvolvido neste trabalho tem como objetivo a criação de uma performance multimédia onde a participação da audiência seja incluída a partir do sinal fisiológico de um espectador. Em resposta aos estímulos musicais, os eventos originados pela atividade neuronal serão registados por um equipamento de EEG, centrando a experiência na interatividade entre um músico e as emoções de uma pessoa do público, um não músico. A pertinência de refletir sobre vários fenómenos relacionados com a percepção auditiva do espectador, durante uma performance, torna-se evidente e ponto de partida para o projeto que se pretende realizar. Qual o nível de concentração do espectador, quais os momentos mais ou menos intensos de uma obra musical, que género de sons origina maior atividade fisiológica, o que se passa nos cérebros da audiência durante uma performance, como reage o cérebro exposto à música? Questões estas que serviram de base para a criação sonora de uma obra electroacústica. A composição dividida em quatro momentos musicais (*loops*), foi construída de modo a permitir uma relação harmónica e melódica entre os *loops*, apesar das suas diferenças ao nível do andamento, do timbre ou da dinâmica. Os estímulos musicais, originados por sons electrónicos e sons acústicos, envolvem o espectador numa experimentação auditiva que permitirá a recolha dos dados através do recurso a aparelhos de EEG, possibilitando a quantificação da informação das reações desencadeadas pelo timbre, altura e ritmo, de acordo com as variações da atividade neuronal do espectador. Os impulsos medidos em tempo real, analisados sob a forma de potência, serão partilhados através de protocolos OSCs com o software Max/MSP que darão origem aos diferentes eventos musicais e visuais. Qualquer que seja a ordem da sequência musical gerida pelo espectador, o resultado permitirá sempre diversas abordagens. A relação entre música, imagem e cérebro tem como segundo objetivo estabelecer as ligações entre todos os equipamentos para uma aplicação futura em criações artísticas. O projeto engloba a construção de um *patch* em Max/MSP que

análise em tempo real os dados provenientes dos registos encefalográficos. A cada zona de potência, num total de quatro, estará associado um *loop* musical e um gerador gráfico que será iniciado em função das médias registadas pelo EEG, relacionando de certa forma a atividade neuronal com a música e a imagem. A intervenção do músico ao vivo funcionará como um mediador que provocará estímulos através de improvisos sobrepostos aos loops pré-gravados, resultando em dois sentidos, o de conduzir e ser conduzido pelos diferentes estados emocionais do espetador. Um desafio que perspetiva uma relação mais próxima entre o compositor, o intérprete e a audiência.

1.1 Escolha do tema

Considerando o meu passado musical como intérprete e compositor, e durante o aprofundamento de conhecimentos permitido pela frequência do Mestrado em Artes Musicais, senti o apelo à realização de um projeto artístico que envolvesse, de forma interativa, a relação compositor, intérprete e espectador em contexto performativo.

A importância de se incluírem as audiências no próprio espetáculo, fruto do grande desenvolvimento ao nível das tecnologias computacionais, oferece cada vez mais aos criadores, a possibilidade de pensarem a arte de forma a estimular as audiências com experiências performativas centradas na interatividade.¹

Por outro lado, nos últimos quatro anos, com a comercialização para o grande público de aparelhos portáteis de EEG² e outros sensores que registam a atividade fisiológica, aplicados à indústria da saúde e dos vídeo jogos, potenciou-se o recurso ao registo *neurofeedback* e levou à sua recente utilização em diversas formas de arte, dando origem a uma nova fase de experimentação para os atuais investigadores, criadores e artistas de todo o mundo.

Nas conferências e simpósios internacionais sobre esta matéria, podemos assistir à exposição e estudo de trabalhos de um número crescente de artistas que se inspiram nestas tecnologias à procura da possibilidade de captar e medir as suas próprias

¹ HÖÖK, K., Sengers, P. and Andresson, G., “Sense and Sensibility: Evaluation and Interactive Art”. In: Proceedings of Computer Human interaction, CHI’2003, ACM Press New York, 2003. - pp241

² EEG - eletroencefalografia - técnica que permite registar a atividade elétrica do cérebro.

emoções. Desde as primeiras experiências de Alvin Lucier³ e David Rosenboom⁴ até aos últimos projetos artísticos que usam os capacetes de EEG, duas questões permanecem em aberto: O que é que as nossas ondas cerebrais nos dizem? Como poderão ser utilizadas por artistas, no presente e no futuro?

Em consequência do interesse por estas novas abordagens, surgiu a escolha deste projeto, o qual visa a exploração do potencial do EEG em contexto artístico, nomeadamente na sua aplicação à música. Para o desenvolvimento do projeto foram definidos dois estudos, em que cada um deles pressupõe a realização de experiências com diferentes participantes, sendo o objeto do primeiro estudo a análise e recolha de dados da atividade neuronal provenientes de estímulos musicais, e do segundo a simulação da performance.

1.2 Interatividade: Questões e objetivos

A interatividade é um conceito que quase sempre está associado os novos media de comunicação⁵ e que pode ser definida segundo Jensen, J. F. como: “[...] uma medida do potencial de habilidade de um media permitir que o usuário exerça influência sobre o conteúdo ou a forma da comunicação mediada [...]”⁶

A interatividade ao serviço da arte, habitualmente visível em instalações e performances, oferece aos elementos da audiência a oportunidade de se envolverem ativamente no processo criativo, influenciando elementos como o som ou a imagem presentes nessas formas de artes e geralmente produzidos pelo computador. Na concepção destes projetos, normalmente são utilizados vários tipos de sensores que, em função do que é pretendido, analisam a atividade física humana em relação ao movimento, localização, gesto ou a sua atividade fisiológica, de modo a que as suas ações possam ser encaminhadas como um sinal primário num sistema informático em que o computador tem a capacidade de resposta. As instalações interativas são

³ LUCIER Alvin, *Music for Solo Performer*, Lovely Music, Ltd. LP 1014, 1982. CD

⁴ ROSENBOOM, David. “Extended Musical Interface with the Human Nervous System”, in *LEA Electronic Monographs*, no. 1, ISAST, 1997.

⁵ Tema desenvolvido no livro DEFLEUR, M. L.; BALL-ROKEACH, S. J. *Theories of mass communication*. New York: Longman. 1989.

⁶ Tradução retirada do artigo JENSEN, J. F. “Interactivity: Tracing a new concept in media and communication studies”. vol. 19. *Nordicom Review*. 1998. - pp185–204

frequentemente apresentados em ambientes abertos para uma melhor exploração, onde cada evento é determinado pela ação individual. O que separa as instalações interativas de outros tipos de instalações de arte ou performances interativas, é o facto de o trabalho das primeiras ser apenas realizado pelo meio das ações de cada um dos participantes do público, para depois serem interpretadas por softwares ou sistemas computacionais, sem que esses participantes do público sejam obrigatoriamente treinados, ou possuam necessariamente um talento para as executar. Ao contrário, o trabalho das performances interativas supõe uma interação simultânea entre o artista e o público, mas por vezes, também requer um treino de adaptação e controlo das suas ações, nomeadamente na utilização de equipamentos e periféricos tecnológicos. O nosso projeto enquadra-se nesta última situação: a da performance interativa. Contudo, neste caso específico, a participação da audiência não necessita de qualquer preparação nem habilidade artística intrínseca para a interação.

Todos estes aspetos sugerem uma nova dinâmica coletiva e artística que é única na arte, exigindo ao público a sua participação na construção da sua própria experiência artística. Ao contrário da criação nas obras acabadas, a arte interativa proporciona o potencial para que muitas obras possam ser realizadas através de uma colaboração anónima. Exemplo disso, é a instalação interativa intitulada *Staalhemel*⁷ onde o artista Christophe De Boeck propõe ao público caminhar num espaço onde estão suspensos, no teto de uma galeria, oitenta placas de aço. A atividade neuronal dos participantes, medida por equipamentos de EEG, produz padrões rítmicos originados por pequenos martelos que batem em placas de aço.

Um dos objetivos deste projeto artístico é pôr em prática a exploração da interação, entre um músico e um elemento do público, em contexto performativo. O registo em tempo real da atividade elétrica do cérebro do elemento do público, mapeado e associado a fragmentos sonoros e visuais, conduzirá a relação entre compositor, intérprete e audiência a um novo desafio.

⁷ A instalação *Staalhemel* pode ser visualizada no site <http://www.staalhemel.com/about-staalhemel>

Partindo da composição musical original de uma peça electroacústica, constituída por sons electrónicos gerados por computador e sons acústicos criados em tempo real, com sonoridades contrastantes caracterizadas por dissonâncias, harmonias, padrões rítmicos, melodias e ruídos, que envolvam o espectador numa experimentação auditiva, pretende-se criar uma performance onde as alterações fisiológicas do espectador, estimuladas pela música, sejam registadas e se tornem intervenientes como um complemento e estímulo à própria performance. Para isso, será utilizado um equipamento de EEG que possibilita a quantificação da informação recolhida pela variação da atividade neuronal do espectador. Os impulsos medidos serão analisados em tempo real, mapeados e traduzidos em eventos musicais (*loops*) associados a uma componente gráfica, controlado pelo software Max/Msp and Jitter⁸.

Naturalmente, para pôr em prática uma performance desta natureza será necessário encontrar soluções para um conjunto de questões que se levantam durante todo processo. Por um lado, na fase inicial, é absolutamente fundamental e prioritário começar por responder a questões técnicas como sejam: qual o melhor aparelho para a recolha eletroencefalográfica, que softwares serão mais apropriados para o efeito pretendido, quais os equipamentos mais aconselháveis, como estabelecer as ligações entre equipamentos, quais os protocolos de rede com melhor desempenho?

Por outro lado, ultrapassadas as dificuldades técnicas, na arte da música e para quem trabalha com o som, surge a pertinência de refletir sobre vários fenómenos relacionados com a percepção auditiva do espectador durante a performance, dando origem ao subcapítulo 4.1 que aborda um dos dois estudos propostos. O estudo EEG realizado, retrata uma análise do comportamento dos valores da potência de *Excitement*⁹ e *Meditation*¹⁰ num determinado espaço de tempo, sujeitas a um estímulo musical

⁸ Max/MSP and jitter é um software interativo de linguagem de programação visual para música e multimédia desenvolvido pela empresa Cycling74.

⁹ Excitement – termo utilizado pelos criadores do equipamento de EEG Emotiv e é definido como uma percepção ou sensação de excitação fisiológica com um valor positivo. Excitação é caracterizada pela activação do sistema nervoso simpático, o que resulta numa variedade de respostas fisiológicas, incluindo a dilatação das pupilas, o alargamento do olho, a estimulação da glândula sudorípara, a frequência cardíaca, o aumento da tensão muscular, o desvio de sangue, e a inibição digestiva.

¹⁰ Meditation – termo utilizado pelos criadores do equipamento de EEG Emotiv que não esclarece os seus princípios teóricos. No meio científico o termo *Meditation* tem sido alvo de inúmeros estudos pelo facto de ser difícil de definir. Segundo Chan e Polich, o termo *Meditation* é usado para descrever práticas que auto regulam o corpo e a mente através de diversos métodos que implicam o envolvimento da atenção (Chan and Polich, 2006). Outro estudo realizado por Sarah Dolgonos, Hari Mulukutla e Clara Moissello intitulado *How does meditation affect the brain?*

gravado que pretende simular uma possível sequência musical. Considerando a importância de centrar o estudo na percepção auditiva, será sugerido a cada um dos espectadores que realize a experiência de olhos fechados, não existindo qualquer contacto visual com o evento, para que reações como o piscar de olhos, outros gestos, ou imagens visuais e mais artefactos não se tornassem obstáculos durante o registo, uma vez que o pretendido é compreender a reação do cérebro aos estímulos musicais. Como refere Albert Bregman no seu livro *A Bradford Book*¹¹, os elementos básicos de análise do som na percepção auditiva são habitualmente constituídos pela região de frequências, localização espacial, flutuação de intensidade, espectro e timbre.

Neste contexto, são oportunas questões sobre qual o nível de concentração do espectador, quais os momentos mais ou menos intensos de uma obra musical, que género de sons origina maior atividade neuronal, o que se passa com a audiência durante uma performance? O ponto de partida determinado para a criação dos diferentes eventos musicais tomou em conta todas estas reflexões.

Para além da reflexão sobre as questões supramencionadas, um outro objetivo fundamental deste projecto será encontrar uma solução que permita estabelecer as ligações entre todos os equipamentos utilizados para uma aplicação futura em criações artísticas. Para isso foi necessário, durante a fase de enquadramento e análise do estado da arte neste domínio, investigar diversos projetos, recolher e analisar a bibliografia dedicada para que a construção do patch em Max/MSP e toda a arquitetura do sistema utilizada funcionasse.

Insights from EEG, o conceito de *Meditation* pode ser classificado por dois tipos - *Mindfulness*: observação de pensamentos e sentimentos que surgem sem uma intenção ou reação (por exemplo, Zen, Vipassana), - *Concentrative*: Foco sobre uma específica atividade mental ou sensorial, como verbalizar de forma repetida, ou a cultura de um determinado estado de espírito (por exemplo, a meditação da compaixão, meditação transcendental, repetição de um mantra), in: http://www.shadowmere.org/wp-content/uploads/2012/04/naam_posterSD-1.pdf

¹¹ BREGMAN B., *A Bradford Book*, MIT Press, Cambridge, MA, and London, 1990. - 736pp

1.2.1 Síntese dos objetivos delineados:

- Aprofundar conhecimentos sobre tecnologias interativas e comunicacionais;
- Desenvolver técnicas de composição centradas no estudo do som;
- Realizar estudos e experiências no âmbito da percepção auditiva aos estímulos musicais;
- Explorar e operacionalizar softwares dedicados à criação musical;
- Desenvolver um *patch* que permita fazer as ligações entre todos os equipamentos para uma aplicação futura em criações artísticas;
- Criação de uma performance interativa.

1.3 Hipótese: interação entre compositor, intérprete e espectador

Como demonstra o esquema seguinte, a hipótese que proponho é uma reflexão centrada na relação ação/reacção dos estímulos originados pela música, permitindo aos três agentes, compositor, intérprete e espectador, interagirem em tempo real.

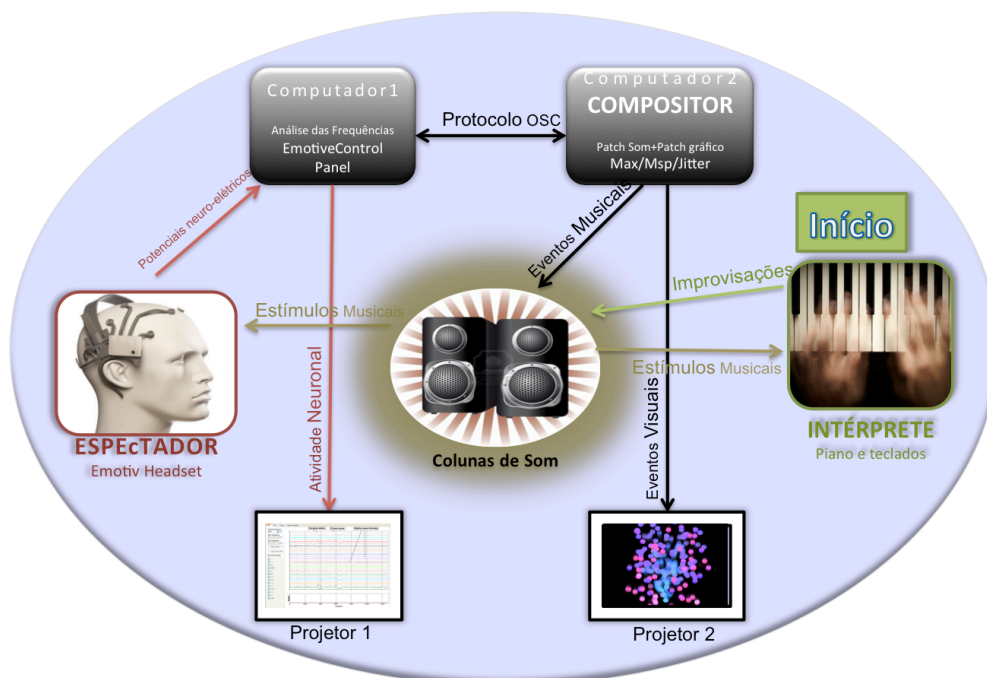


Fig.1 O esquema representa a proposta de interação entre compositor, intérprete e espectador

Como demonstra a fig.1, a performance tem início nas improvisações do piano e dos teclados desencadeadas pelo intérprete. A partir dos estímulos musicais resultantes e emitidos pelas colunas de som, o dispositivo Emotiv, através de 14 elétrodos, é responsável pela captação da atividade neuronal do espectador, enviando por Bluetooth para o computador 1. O *software* TestBench, desenvolvido pela Emotiv, faz o registo da informação da informação EEG em tempo real e projeta graficamente numa tela todo o desenvolvimento da atividade cerebral, para que a audiência possa acompanhar e entender todo o processo. Através do Control Panel são enviados os dados dos valores, convencionados pelos investigadores do Emotiv, de *Excitement*, *Engagement*¹² e *Meditation* para o computador 2, utilizando um protocolo OSC via Mind your OSCs¹³. No computador 2 são mapeados os dados no software Max/MSP através de diversos *patches* e traduzidos em eventos musicais e visuais. Por sua vez, os eventos musicais vão estimular novamente o espectador e o intérprete numa relação ação/reação. Os dados do *Excitement* vão dar origem aos diferentes loops musicais associados aos motivos gráficos. Por outro lado, a variação dos dados do *Engagement* e *Meditation* fará modelar a velocidade, a cor, a dimensão e a orientação do *patch* gráfico. O intérprete funcionará como mediador musical durante toda a interação, conduzindo e deixando-se conduzir por os eventos musicais gerados durante todo o processo. O facto de incluir de forma aleatória um elemento da audiência, cada vez que se realiza a performance, vai dar origem a momentos musicais e visuais sempre diferentes.

¹² *Engagement* - termo utilizado pelos criadores do equipamento de EEG Emotiv e é definido como uma experiência relativa à vigilância e à direção consciente da atenção para estímulos provenientes de tarefas relevantes. É caracterizada por um aumento da excitação fisiológica das ondas *beta*.

¹³ Mind your OSCs é um software baseado em OSC (Open Sound Control) que permite enviar dados do Emotiv EPOC para qualquer aplicação que receba OSC. Este software foi desenvolvido e registado em SourceForge.net em abril de 2010. Para mais informações consultar o site <http://mindyouroscs.sourceforge.net/>

1.4 Metodologia: Planificação e desenvolvimento

No início do trabalho foi desenvolvido um estudo intensivo de todas as fontes possíveis e determinantes para a sustentação do projeto: bibliografias, projetos realizados, vídeos, sites, entidades, instituições, entre outras. A maioria da informação encontrada, que efetivamente se tornou relevante para o desenvolvimento desta matéria, teve origem em fontes muito recentes, particularmente em projetos artísticos, apresentações, dissertações, teses, simpósios ou em conferências internacionais realizadas entre 2007 e 2012. Na generalidade dos projetos estudados, as experiências em contexto artístico realizadas em tempo real com a atividade cerebral, recorrendo a equipamentos de EEG, embora interessantes e promissoras, são ainda muito experimentais e com resultados pouco significativos do ponto de vista do controlo dos seus resultados.

Na maioria dos projetos, uma das dificuldades encontradas, relaciona-se com a filtragem dos artefactos ou interferências que surgem durante a recolha de dados realizada por estes equipamentos, assim como em conseguir transformar os sinais neuronais em dados para controlar funções dentro de patches em ambientes como o Max/MSP, Pure data, Supercollider ou Processing. Para que apenas a informação desejada passe de forma eficiente, são necessários *softwares* adicionais que habitualmente não são fornecidos pelas empresas que produzem estes equipamentos. Para contornar esta dificuldade, é usual recorrer a programadores especializados que desenvolvem soluções em linguagem C++. Para alguns dos equipamentos comerciais de EEG, até ao momento, não foram desenvolvidas aplicações de OpenVibe¹⁴ que permitam retirar e utilizar a informação noutros softwares e que ultrapassem a função básica de monitorizar o cérebro.

Durante a fase inicial do projeto, tornou-se pertinente encontrar as entidades que possuíssem equipamentos de EEG. Para esse efeito foram realizados diversos contactos, nomeadamente com o Hospital de São José, dois Laboratórios de investigação, o

¹⁴ OpenVibe – *Software* criado para ser utilizado em tempo real por interfaces computador cérebro nas neurociências.

EngageLab¹⁵ e o Plux¹⁶, e diversas Universidades¹⁷ nacionais com conhecimentos nesta área e que tivessem disponibilidade para uma colaboração relativamente à operacionalização e experimentação dos referidos equipamentos. Depois de uma troca de emails e algumas reuniões, nenhum dos contactos efetuados foi produtivo, não sendo por esta via encontrada uma solução para o problema de não acessibilidade ao equipamento de EEG, absolutamente indispensável à concretização do projeto.. Durante este contactos, surgiu a oportunidade de participar num *workshop* intitulado Tangible Feelings, organizado pela Fundação Manuel António da Mota, que decorreu durante o mês de novembro de 2012, na cidade do Porto. No decorrer do *workshop* foi possível desenvolver algumas experiências, com a orientação do artista e investigador Mattia Casalegno¹⁸, o que permitiu o contacto com vários equipamentos de EEG, maioritariamente da marca Emotiv. Como resultado deste workshop, surgiu a oportunidade de uma colaboração com a μ ARTs, um coletivo multidisciplinar localizado na cidade do Porto, que desenvolve projetos artísticos no âmbito da dança, música e neurociência. No decorrer do trabalho, foram realizados os contactos necessários ao desenvolvimento das experiências com o recurso a dois equipamentos Emotiv – research edition.

Durante o período de novembro de 2012 a janeiro de 2013, parte do trabalho foi relacionado com a composição e organização dos elementos sonoros com recurso a softwares dedicados à criação de sons electrónicos, gravação, edição, mistura e masterização.

Em simultâneo foi concebido em Max/MSP o patch responsável pelos eventos musicais e visuais assim como o patch de recepção de sinal e análise de dados. Nesta

¹⁵ EngageLab é um laboratório na intersecção das artes e da tecnologia fundada por investigadores de dois centros de pesquisa reconhecidos pela Fundação Portuguesa de Ciência e Tecnologia, o Centro de Estudos de Comunicação e Sociedade e do Centro ALGORITMI.

¹⁶ PLUX – Empresa portuguesa fundada em 2007 que cria produtos inovadores para fisioterapeutas e investigadores, através do desenvolvimento de uma plataforma de monitorização de sinais biológicos avançados, que integra sensores corporais dedicados à eletromiografia (EMG), eletrocardiograma, respiração e acelerómetros.

¹⁷ Universidade do Minho, FPCEUP, FEUP, UN – Dep. Biomédicas e Universidade de Faro.

¹⁸ Mattia Casalegno é um escultor, artista visual e performer que desenvolve trabalhos em áreas como a percepção, sinestesia e audiovisuais. Tem realizado diversos workshops com o nome de Tangible Feelings - uma série de eventos internacionais dedicados a promover uma discussão em torno de BCI e tecnologias de EEG (interfaces cérebro-computador de nova geração, como IBVA, Emotiv e NeuroSky).

fase, foi ainda necessário estudar e idealizar as ligações entre todos os aparelhos, de forma a compreender e ultrapassar todas as dificuldades que foram surgindo.

Entre fevereiro e março de 2013, no Porto, foram ainda realizadas as recolhas de EEG para os estudos propostos com a colaboração da μ ARTs em vários espaços da ESMAE¹⁹.

Ao longo de todo o trabalho prático foi elaborado o presente relatório.

¹⁹ ESMAE – Escola Superior de Música e Artes do Espetáculo

2 O ESTADO DA ARTE E AS TECNOLOGIAS ASSOCIADAS

No seio de uma sociedade que continuamente se torna complexa e que permanentemente se reestrutura sob o impacto da tecnologia, o papel da arte encontra-se firmemente associado às dimensões temporais inventivas e imaginativas do ser e da complexidade perceptiva, que requer uma procura interdisciplinar dos modos projetivos de trabalho. Esta temporalidade projetiva provoca a aceleração do trabalho imaginativo e criativo, contribuindo para isso a tecnologia.

Paralelamente, temos assistido ao rápido desenvolvimento de hardware (computadores pessoais, gravação, reprodução, controle de equipamentos interfaces, robótica ou sensores) e software (software de edição, tratamento e manipulação de áudio e imagem), permitindo a sua utilização ao alcance financeiro de muitos artistas. Estes desenvolvimentos foram influenciados pelas condições económicas e sociais da conjuntura atual.

Se refletirmos um pouco acerca de como os computadores e os avanços tecnológicos convivem com a arte, facilmente concluímos que os computadores trouxeram uma nova forma de criar e de pensar a arte em geral. No passado, a arte tinha uma forma física que poderia ser mantida na sua condição original, desde que fosse devidamente protegida e preservada. Por outro lado, a arte digital trás consigo outros assuntos suscetíveis de reflexão, como por exemplo, as alterações nas convenções dos formatos digitais que envolvem o *software* e os programas responsáveis por abrirem determinados trabalhos digitais. A configuração desta realidade, reconhece que, inevitavelmente, os *softwares* ficarão rapidamente obsoletos e deixarão de permitir abrir trabalhos mais antigos, alterando-se o objeto artístico na percursão dos avanços tecnológicos.

John Maeda²⁰, numa entrevista para o canal Discovery US, em resposta à pergunta “De que forma é que a tecnologia tem vindo a mudar a arte?”, afirma que, “Efetivamente, os computadores e os avanços tecnológicos não alteraram a arte do presente, apenas funcionam como interfaces e redutores da distância que existe entre o pensamento e a obra, da mesma forma que aproxima o público da obra de arte através da rede de internet. Por mais útil que as tecnologias se tornem, no centro da criação artística estará sempre presente a mente humana, que guia as tecnologias em prol da concepção e visão sobre a obra de arte”.²¹

Seguramente, não seria possível idealizar um projeto desta natureza, se de facto os equipamentos necessários para a sua concretização ainda não tivessem sido desenvolvidos. Fundamentalmente, na base desta experiência está a necessidade de cruzar estes avanços tecnológicos em prol da própria arte.

2.1 EEG – Eletroencefalograma

O EEG é um exame não invasivo que analisa a atividade elétrica cerebral espontânea captada através da utilização de eléctrodos colocados sobre o couro cabeludo em locais específicos. A atividade das células nervosas é na base um processo eletroquímico sendo possível gravar com instrumentos sensíveis.²²

Nos subcapítulos seguintes, contextualizando a técnica EEG numa linha temporal, serão abordados os factos históricos mais importantes, assim como algumas das suas aplicações na arte.

2.1.1 Sinais EEG – História e desenvolvimentos

Os desenvolvimentos técnicos no campo das medidas e do registo de fenómenos elétricos cerebrais, e de modo geral neuronais, realizados nos últimos 25 anos do século XIX tornaram possível um dos maiores acontecimentos da neurociência moderna. Fruto

²⁰ John Maeda é um artista reconhecido internacionalmente que desenvolve trabalhos no âmbito do design gráfico e das ciências computacionais. (<http://dsc.discovery.com/tv-shows/curiosity/topics/john-maeda.htm>)

²¹ Tradução do texto original retirado da entrevista disponibilizada no site <http://curiosity.discovery.com/question/technology-changing-art>

²² SCOTT, Donald. *Understanding EEG: an introduction to electroencephalography*, Duckworth, London, 1976.

do trabalho realizado pelo psicólogo e psiquiatra alemão Hans Berger, em 1924, foi possível observar que o cérebro humano gerava atividade elétrica contínua e podia ser gravada. A técnica do registo eletroencefalográfico era realizado, e ainda é nalguns equipamentos nos dias de hoje, através de eléctrodos fixados, com um gel condutor de electricidade, à pele do crânio. Um poderoso amplificador electrónico aumenta milhares de vezes a amplitude do fraco sinal eléctrico (geralmente menos do que alguns microvolts) que é gerado pelo cérebro, o qual pode assim ser captado. Nas primeiras experiências de captação dos impulsos eléctricos cerebrais era utilizado um dispositivo chamado galvanómetro que desenhava graficamente sobre a superfície de uma tira de papel o resultado da actividade eléctrica. Um par de eléctrodos constitui o que chamamos canal de EEG. Dependendo da aplicação que se dá ao EEG, os aparelhos atuais permitem o registo simultâneo de 8 a 40 canais em paralelo, designado por registo multicanal do EEG.

Desde Berger, é do conhecimento científico que as características das ondas registadas no EEG alteram-se dependendo da situação fisiológica, sobretudo em situações comuns, como quando estamos a dormir, acordados e relaxados, acordados e concentrados, ou excitados, dando origem à variação do nível de actividade eléctrica. Determinadas tarefas mentais também alteram o padrão observado nas ondas cerebrais registadas em diferentes pontos do cérebro. Assim, a técnica do eletroencefalograma é utilizada em neurologia e psiquiatria, sobretudo para auxiliar no diagnóstico de doenças do cérebro, tais como epilepsia, convulsões causadas pela actividade caótica dos neurónios ou das células cerebrais, problemas do sono ou tumores cerebrais.²³

Realizando muito brevemente uma resenha histórica da técnica EEG, começaremos por Richard Caton (1842-1926), um médico que viveu em Liverpool, e que apresentou as suas descobertas sobre os fenómenos eléctricos dos hemisférios cerebrais recolhidos em coelhos e macacos, publicadas em 1875 no *British Medical Journal*²⁴. Em 1890, o Polaco fisiologista Adolf Beck realizou uma investigação da actividade eléctrica espontânea do cérebro de coelhos e cães que incluíam oscilações rítmicas alteradas pela luz. Em 1912, o fisiologista russo, Vladimir Vladimirovich Pravdich-Neminsky apresentou o primeiro estudo em animais com o sistema EEG,

²³ COLLURA, Thomas. "History and Evolution of Electroencephalographic Instruments and Techniques", Section of Neurological Computing, Department of Neurology, The Cleveland Clinic Foundation, Cleveland, Ohio, U.S.A., in *Journal of Clinical Neurophysiology*, New York: Raven Press, Ltd., 1993. - pp476-504

²⁴ CATON, R., "The Electric Currents of the Brain", *Br. Med. J.*, ii 1875. - 278pp

evocando o potencial dos mamíferos. Em 1914, o Napoleão Cybulski e Jelenska-Macieszyna fotografou as gravações de EEG de convulsões induzidas. O fisiologista alemão e psiquiatra Hans Berger (1873-1941) em 1924 realizou com sucesso o primeiro registo EEG em cérebros humanos descobrindo as ondas Alpha também conhecidas por “Berger’s Wave”²⁵. Ao dar continuidade ao trabalho realizado em animais por Richard Caton entre outros, a descoberta de Berger foi descrita como “uma das invenções mais surpreendentes, notável e importante na história da neurologia clínica”²⁶. As suas descobertas foram primeiro confirmadas pelos cientistas britânicos Edgar Douglas Adrian e Matthews B.H.C. em 1934 e posteriormente desenvolvidas por eles.

Em 1947, foi fundada a Sociedade Americana de EEG e realizado o primeiro congresso internacional de EEG. Na década de 1950, William Grey Walter desenvolveu um complemento ao exame EEG apelidado de topografia EEG, o que permitiu o mapeamento da atividade eléctrica através da superfície do cérebro. Isto proporcionou um breve período de popularidade na década de 1980 e parecia especialmente promissor no contexto da psiquiatria. Apesar disso, este método nunca foi aceite pelos neurologistas e permaneceu principalmente como uma ferramenta de pesquisa clínica sobre o estudo do sono ou para monitorizar a atividade eléctrica anormal nos casos de epilepsia.²⁷

2.1.2 As ondas cerebrais

As ondas cerebrais são uma reflexão da atividade eléctrica, rica e complexa que ocorre no cérebro e é representada por frequências. Em função das diferentes frequências, as ondas eléctricas são registadas e agrupadas por bandas de frequência designadas por letras gregas. Entre 1930 e 1940, foram agrupadas as cinco categorias de ondas cerebrais, representando, cada uma delas, um nível diferente de atividade cerebral. A primeira categoria das ondas cerebrais é designada por Delta e varia entre frequências de 0.2 e 4 ciclos por segundo. O estado Delta pode ser verificado sobretudo em crianças de tenra idade durante o sono profundo. A segunda categoria é Theta que

²⁵ BERGER, H. *Über das elektroencephalogramm des menschen*. Arch Psychiatr Nervenkr, 1929. - pp528-570

²⁶ Tradução retirada do livro COLLURA, Thomas. “History and Evolution of Electroencephalographic Instruments and Techniques”, Section of Neurological Computing, Department of Neurology, The Cleveland Clinic Foundation, Cleveland, Ohio, U.S.A., in *Journal of Clinical Neurophysiology*, New York: Raven Press, Ltd., 1993. - pp476-504

²⁷ WALTER, W. Grey, *The Living Brain*. New York: W.W. Norton, 1953.

varia entre 4 e 7 ciclos por segundo e está relacionada com a memória ou quando executamos uma tarefa de forma automática sem pensar ou repetida. A terceira categoria é Alpha e varia entre 7 e 13 ciclos por segundo e ocorre quando estamos relaxados, de olhos fechados ou em certas formas de meditação. A Quarta categoria é o estado de Beta que oscila entre 13 e 30 ciclos por segundo e pode ser registada quando estamos concentrados, em estado de alerta ou a realizar tarefas que exigem raciocínio. Por último, a quinta categoria é representada por Gamma e varia entre 30 e 100 ciclos por segundo e está habitualmente relacionada com a elevada atividade mental e a consolidação de informação²⁸. Para uma melhor compreensão do que foi referido, na fig.2 está representado o registo EEG da amostra de um segundo das diferentes bandas de frequência, realizado por Hugo Gamboa²⁹ em 2005.

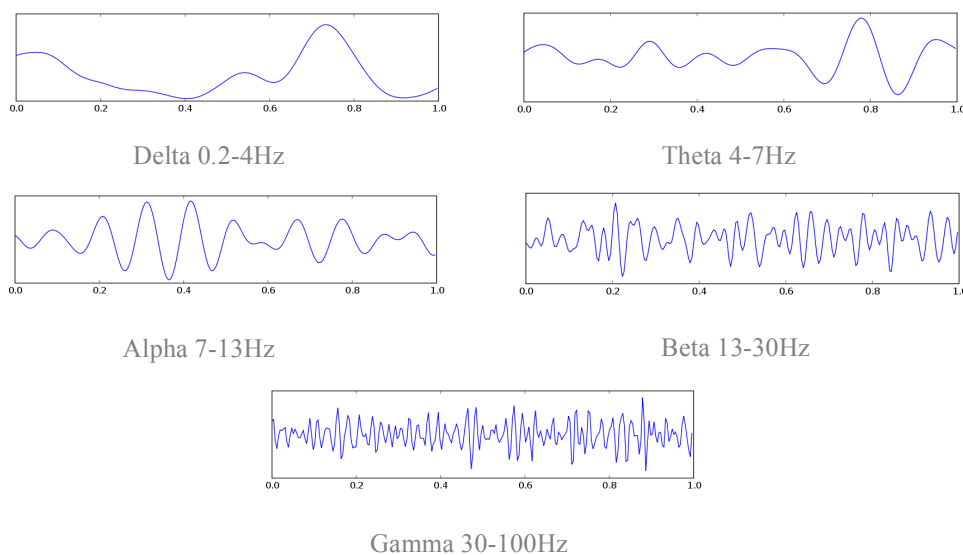


Fig.2 Gráficos representativos da amostra de um segundo das diferentes bandas de frequência

²⁸ Miranda, E. R., “Brain-computer music interface for composition and performance”, *International Journal on Disability and Human Development*, 5(2):, 2006. - pp119-12

²⁹ Hugo Gamboa – Professor de instrumentação no departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova e membro do CEFITEC.

2.2 Biofeedback e BCI's

Na década de 1960, Neal E. Miller ao aplicar a técnica EEG para tratamentos terapêuticos, deu origem à criação do método de bio-feedback. Esta metodologia tem vindo a ser utilizada em pacientes, desde essa altura, para medir a atividade fisiológica das ondas cerebrais, batimentos cardíacos ou tensão muscular para que eles aprendam a controlar essas atividades e conseqüentemente melhorem sua condição de saúde, aumentando a sua consciência do corpo e da mente.

Schwartz e Andrasik explicaram em 1969³⁰, que Joe Kamiya, ao estudar os estados cerebrais alfa e beta, referiu que era possível voluntariamente controlar as ondas alfa - um sonho que se acreditava anteriormente impossível. Com esta investigação, Kamiya deu um impulso vital para o uso do método EEG-Biofeedback, mais vulgarmente conhecido como Neurofeedback.

Os interfaces cérebro-computador (Brain Computer Interface - BCI) permitem analisar a atividade cerebral e, com algum treino, é possível o cérebro operar como um controlador de máquinas, em situações com cadeiras de rodas, próteses, robótica ou para aplicações como vídeo jogos. O BCI utiliza por vezes a técnica de eletroencefalografia (EEG) para ler a atividade elétrica no cérebro. Ao analisar as frequências recolhidas por EEG, podemos acompanhar a atividade cerebral e transformar (FFT)³¹ as frequências em dados, que por sua vez serão convertidos em funções. Este processo suprime a necessidade dos sinais elétricos desencadearem impulsos através das vias neuromusculares, as quais constituem as vias normais do nosso corpo para desencadear diferentes ações.

A partir do estudo dos resultados de Hirshkowitz³² e de Petsche³³, durante algumas recolhas de EEG com músicos e não músicos sujeitos a estímulos musicais, ficou estabelecido que, em geral, quando as pessoas ouvem música simplesmente por prazer e estão concentradas no som, a atividade maior ocorre no hemisfério direito,

³⁰ SCHWARTZ, Mark S., Andrasik, Frank, *Biofeedback: A Practitioner's Guide*, The Guilford Press, London, 2003.

³¹ FFT ou DFT: Fast/ Discrete Fourier transform

³² HIRSHKOWITZ, M., Earle, J., & Paley, B., "EEG alpha asymmetry in musicians and nonmusicians: A study of hemispheric specialization", *Neuropsychologia*, 16(1), 1978. - pp125-128

³³ PETSCHÉ, H., Richter, P., Von Stein, A., Etlinger, S. C., & Filz, O. "EEG coherence and musical thinking", *Music Perception*, 11(2), 1993. - pp117-151

sendo as gamas de frequências alpha e beta mais intensas relativamente ao hemisfério esquerdo. Pelo contrário, quando os músicos analisam estruturalmente uma música, a atividade de alfa e beta, torna-se dominante no hemisfério esquerdo ou simplesmente desaparece.

Em geral, o hemisfério esquerdo está relacionado com o pensamento analítico e linear ou com o processamento sequencial de estímulos como na linguagem ou na informação matemática (fig.3). Como é referido por Zillmer, Spiers e Culbertson, o hemisfério direito, por outro lado, está implicado com a transformação global de informações, tais como o reconhecimento de músicas, imagens ou outras formas de arte.

34

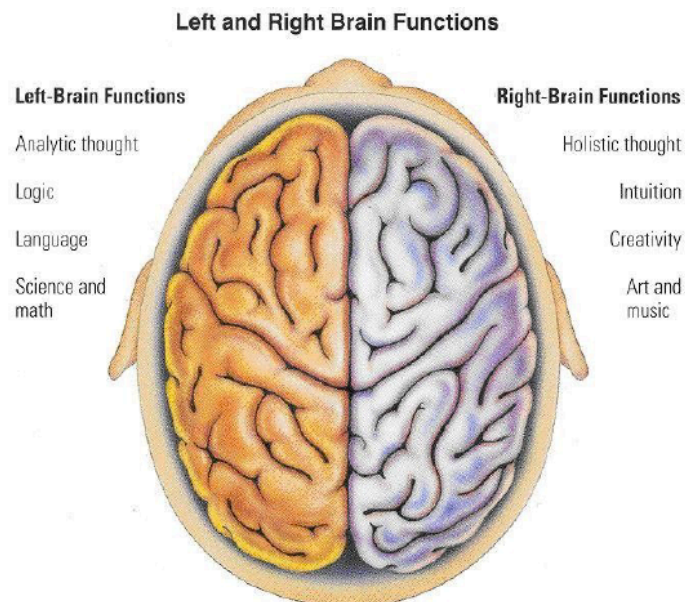


Fig.3 Funções associadas aos dois hemisférios do cérebro³⁵

³⁴ ZILLMER, E. A., Spiers, M. V., Culbertson, W. C., “Principles of neuropsychology” (2nd edition). Belmont, CA: Wadsworth, 2008.

³⁵ Imagem retirada do site "<http://brainchildco.wordpress.com/>"

2.3 Emotiv e outros equipamentos EEG

Habitualmente os equipamentos BCI baseados em EEG são pesados e extremamente dispendiosos. Existem no entanto alguns equipamentos de EEG que surgiram nos últimos anos com o objetivo de serem comercializados para o grande público, para aplicações em vídeo jogos, monitorização cerebral e sobretudo para a comunidade de investigadores aplicar em estudos de científicos. No quadro da fig. 4, apresenta-se uma seleção dos equipamentos EEG mais utilizados pela comunidade científica e no campo das artes, por serem menos dispendiosos, pela sua portabilidade e por todo um conjunto de softwares e aplicações desenvolvidas.

Equipamentos	N. de Eléctrodos	Interpretação dos sensores	Ano de comercialização	Produtores
MindWave	1	2 estados mentais (baseado em 4 ondas cerebrais)	Março 2011	Neurosky
Emotiv	14	4 estados mentais, 13 pensamentos conscientes, expressão facial, movimentos da cabeça	Dezembro 2009	Emotiv Systems
Mindset	1	2 estados mentais (baseado em 4 ondas cerebrais)	Março 2007	Neurosky
Neural Impulse Actuator	3	2 estados mentais (Alpha e beta), movimentos dos músculos faciais e dos olhos	Mai 2008	OCZ Technology
XWave headset	1	8 bandas de EEG	Janeiro 2001	PLX Devices
Myndplay BrainBand	1	8 bandas de EEG	Dezembro 2011	MyndPlay
Muse	4	2 estados mentais (baseado em 4 ondas cerebrais)	Junho 2012	InteraXon
IBVA	4	2 estados mentais (baseado em 3 ondas cerebrais)	Desde 1995	Brainmachine

Fig.4 Tabela comparativa de equipamentos de EEG

Para a aplicação nos estudos 1 e 2 deste projeto, foi utilizado um sistema EEG da marca Emotiv na versão Research (fig.5), constituído por um dispositivo para

colocação no escalpe, *pen bluetooth* e o *software* Emotiv Control Panel. O Emotiv foi desenhado como um interface para aplicações em vídeo jogos e robótica, permitindo gravar a atividade cerebral. O dispositivo é constituído por 14 elétrodos (fig.6), que necessitam de serem humidificados com soro fisiológico para que o contacto seja mais eficaz, e um giroscópio com dois eixos utilizado para determinar a posição da cabeça. No *software* adicional, existem aplicações que permitem registar a expressão facial, o movimento da cabeça, um conjunto de padrões da atividade cerebral (*Excitement, Engagement, Meditation, Frustration*), correspondentes a determinadas expressões ou emoções universais, assim como uma aplicação que compreende algoritmos para encontrar e reproduzir padrões comuns relacionados com diferentes eventos. Todas as especificações poderão ser visualizadas no apêndice A.

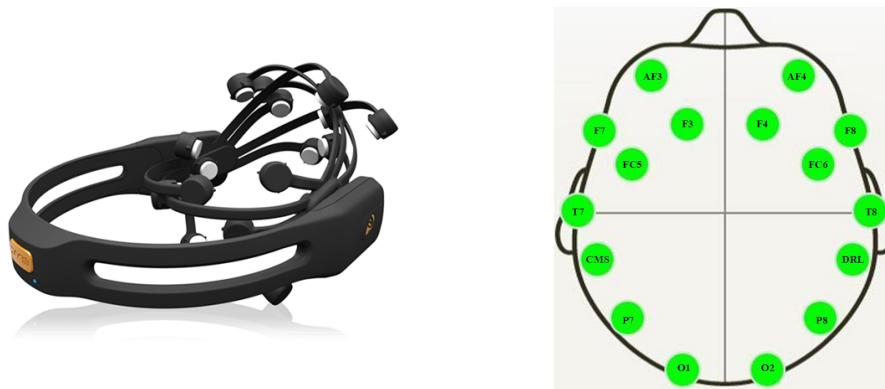


Fig.5 Emotiv EEG Headset com 14 elétrodos (*international 10-20 locations*)³⁶

As ondas gravadas sobre o couro cabeludo são o resultado da atividade elétrica do cérebro através do tecido cerebral. A configuração distinta da distribuição de energia no espectro (através de FFT) do sinal EEG é útil para a compreensão dos diferentes estados emocionais. Por outras palavras, com a análise da intensidade espectral, o sinal é separado por parciais, determinando as respetivas amplitudes e frequências.³⁷

³⁶ Imagens retiradas do site <http://emotiv.com/eeg/features.php>

³⁷ SCOTT, Donald. Understanding EEG: an introduction to electroencephalography, Duckworth, London, 1976.

2.4 Música e emoções

Quando refletimos sobre a evolução da música e da forma como ela interage com o ser humano, segundo Henson³⁸, podemos concluir que desde os filósofos gregos, existe uma consciência sobre os seus efeitos terapêuticos nas pessoas. O estudo relacionado com a música e os estímulos por ela provocados nos ouvintes pode ser encontrado no livro *Music and the Mind* de Anthony Storr³⁹. O autor descreve esses estímulos como uma condição de alerta máximo, consciência, interesse e entusiasmo quando se manifestam nas diferentes alterações psicológicas registadas.

A forma como sentimos a música é extremamente complexa e envolve fatores subjetivos e objetivos. Investigadores como Sloboda⁴⁰ demonstraram que as crianças são atraídas por determinados timbres, alturas do som ou ostinatos de ritmos simples, os quais se poderão definir como respostas primitivas ao som; outras respostas poderão estar relacionadas com fatores diversos. Na música em geral podem depender das diferenças culturais, das harmonias simples, das tonalidades e de ritmos estimulantes. Outros fatores poderão ser o significado emocional nas circunstâncias em que a música acontece, o passado musical e a relação com a música e o estado mental do ouvinte.⁴⁰ *That emotional and perceptual musical experience changes functions in the human body has been known for many years.*⁴¹

As alterações fisiológicas provocadas pela escuta musical são diversas e podem modificar tanto a frequência cardíaca, a pressão arterial, a respiração, os reflexos psicogalvânicos, como até outras funções autónomas. A maior parte das funções do corpo humano são controladas pelo cérebro.⁴¹

³⁸ HENSON, R.A., *Neurological Aspects of Musical Experience*, The Camelot Press Ltd, Southampton, 1977.

³⁹ STORR, Anthony, *Music and the mind*, Ballantine, USA, 1993.

⁴⁰ SLOBODA, J., "Musical ability", in G.R. & Ackrill, K.A. Ackrill, *The Origins and Development of High Ability* (Ciba Foundation Symposium) Chichester; Wiley, 1993.

⁴¹ HARRER, G., & Harrer, H. "Music, emotion, and autonomic function". In Critchley, M. & Henson, R. A. (Eds.), *Music and the brain. Studies in the neurology of music*, London: William Heinemann Medical Books, 1977. - pp202-216

A relação entre os parâmetros musicais e os diferentes estados emocionais, segundo Le Groux⁴², pode ser verificada em pormenor na tabela do apêndice A.

Embora muitas questões sobre a base neurobiológica das emoções musicais continuem por resolver, está provado que as emoções musicais dependem de um percurso emocional especializado que pode recorrer a várias estruturas corticais e subcorticais que são suscetíveis de ser partilhadas, pelo menos em parte, com outros sistemas biologicamente importantes. O caminho da investigação sobre as reações emocionais não é simples. Não há um padrão de razão emocional único ou subjacente a todas as precepções musicais. Por exemplo, a maior parte da atividade neuronal subjacente às respostas emocionais causadas pela dissonância foi identificada e envolve um sistema complexo que se distribui por todo o cérebro.⁴³ A motivação para o entendimento das bases biológicas das emoções musicais está presente nos estudos mais atuais da comunidade científica.^{44&45} Há cada vez mais consciência do valor social e clínico da música, particularmente no que diz respeito à sua eficácia na comunicação das emoções. Hoje mais do que nunca, a música desempenha um papel poderoso e único na vida humana, com uma diversidade de manifestações sobre os muitos aspectos do seu funcionamento, ultrapassando a sua função social evidente. Não é possível mudar a forma como o cérebro é construído. No entanto, podemos entender melhor o seu funcionamento, adaptando as práticas musicais às suas limitações biológicas.

No presente trabalho, a questão de relacionar a música com as emoções nunca assumiu qualquer pretensão científica, não obstante as reflexões que se impuseram na presente abordagem assumida por este trabalho artístico.

⁴² LE GROUX, Sylvain. “Situating, Perceptual, Emotive and Cognitive Music Systems” *A Psychologically Grounded Approach to Interactive Music Composition*, Tesi Doctoral UPF, Universitat Pompeu Fabra, 2011.

⁴³ PERETZ, I., Gagnon, L., Bouchard, B., *Music and emotion: perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage*. *Cognition* 68 (2), 111- 41, 1998.

⁴⁴ PERETZ, I., “Towards a neurobiology of musical emotions”, In P.N. Juslin & J.A. Sloboda (eds) *Handbook of Music and Emotion: Theory, Research, Applications*. Oxford: Oxford University Press, 2010. - pp99-126

⁴⁵ JUSLIN, P. N., Västfjäll, D.,. *Emotional responses to music: the need to consider underlying mechanisms*. *Behav Brain Sci* 31 (5), 2008.- pp575–621

2.5 Aplicação em contexto artístico

As primeiras tentativas de utilizar o sinal recolhido pela técnica de EEG para fins artísticos remontam a meados da década de 1960. Pela primeira vez, o uso de EEG foi incorporado em composições de Alvin Lucier e Richard Teitelbaum permitindo uma nova aplicação dos dados de EEG para além das áreas científicas ou terapêuticas.

As obras descritas no próximo parágrafo demonstram como o uso de dados de EEG em tempo real resultam em trabalhos interativos dinâmicos. A evolução dos dados de EEG está em constante modificação de acordo com os estados emocionais e mentais constatados em cada performance. Como Rosenboom explica, esta variabilidade implica um sistema dinâmico: *Dynamical systems may be thought of as those involving forms or behaviors that change over time. The study of such changing forms may also be termed morphodynamics.*⁴⁶

Em 1965, Alvin Lucier compôs *Music for Solo Performer - for Enormously Amplified Brain Waves and Percussion*⁴⁷, que é considerada a primeira peça musical com a utilização de captação de ondas cerebrais. Para esta peça, foram colocados elétrodos no couro cabeludo do performer que mediam apenas as ondas alfa para serem enviadas para amplificadores e altifalantes ligados a um vasto conjunto de instrumentos de percussão, de forma a produzir vibrações nesses instrumentos através de ressonância. Outros exemplos importantes que utilizam sinais fisiológicos são algumas peças de Richard Teitelbaum⁴⁸, *Organ Music* e *In Tune*, ambas criadas em 1968 e nas quais o compositor utilizou os sinais EEG e ECG⁴⁹, principalmente para controlar a voltagem do sintetizador Moog. Neste caso, o registo da atividade fisiológica foi aplicado essencialmente à modulação de frequência de quatro osciladores de tensão e para controlar e filtrar a amplitude dos sinais de áudio.

Em 1968 na cidade do Kansas, Manfred Eaton, desenvolve vários circuitos eletrónicos com o objetivo de realizar experiências com sinais fisiológicos. Eaton

⁴⁶ ROSENBOOM, David. "Extended Musical Interface with the Human Nervous System", in *LEA Electronic Monographs*, no. 1, ISAST, 1997.

⁴⁷ LUCIER, Alvin. *Music for Solo Performer*, LP record, #VR 1014, New York: Lovely Music, Ltd., 1982. CD

⁴⁸ TEITELBAUM, Richard, "In Tune: Some Early Experiments in Biofeedback Music (1966-1974)," in *Biofeedback and the Arts, Results of Early Experiments*, ed. D. Rosenboom, 39, Aesthetic Research Center of Canada Publications, Vancouver, 1976.

⁴⁹ ECG - Eletrocardiograma

publica inicialmente um artigo intitulado *Biopotentials as Control Data for Spontaneous Music* na Orcus Research Co.⁵⁰ e mais tarde em 1971, publica um manifesto com o nome de *Bio-Music: Biological Feedback Experiential Music Systems* (Orcus; republicado em 1974 pela Something Else Press), defendendo que existem formas completamente novas de música e de experiências geradas biologicamente.

Jacques Vidal, um investigador em ciências computacionais da UCLA, durante os anos de 1970, começou a trabalhar no desenvolvimento do primeiro BCI (brain-computer interface), utilizando um computador IBM e outros equipamentos de aquisição de informação. Em 1973, publica *Toward Direct Brain-Computer Communication*.

Também no início de 1970 David Rosenboom aprofunda e desenvolve a investigação do potencial EEG para aplicações artísticas, incluindo a música. Em *For On being invible* (1976/77), Rosenboom desenvolveu o seu próprio software em tempo real para criar, como refere, “[...] a self-organizing, dynamical system, rather than a fixed musical composition”. O seu sistema dinâmico em tempo real, recolhe padrões da atividade cerebral do artista que aparecem com uma certa regularidade para depois comparar com outros padrões previamente gravados. Esta relação permitiu determinar a sua periodicidade de modo a interferir e influenciar os diferentes parâmetros musicais. O software detectou e analisou o ERP⁵¹ da atividade do cérebro, que por sua vez está associada diretamente com a resposta de um estímulo interno ou externo, com o objetivo de ativar os instrumentos, originando um circuito entre o intérprete e o ambiente sonoro produzido pelo sistema.

Rosenboom desenvolveu múltiplos interfaces musicais baseados em sinais EEG, que inspiraram um grande número de compositores e performers da atualidade que utilizam este tipo tecnologia. Em particular, Rosenboom explorou a hipótese de que poderia ser possível detetar certos aspetos da nossa experiência musical através do registo eletroencefalográfico. Um dos exemplos está referenciado num artigo que surgiu em 1990, publicado no *Computer Music Journal*, onde introduz um sistema musical

⁵⁰ EATON, Manford L., *Bio-potentials as control data for spontaneous music*, Kansas City, Mo., ORCUS Research Co., c1968.

⁵¹ ERP – Event Related Potential é o registo da resposta do cérebro que se traduz no resultado direto de uma sensação específica, cognitiva, motora ou de um evento.

cujos parâmetros são conduzidos por componentes de EEG aparentemente associados à mudança de atenção seletiva do performer.⁵²

Em França, o cientista Roger Lafosse desenvolveu juntamente com Pierre Henry um sofisticado sistema interativo conhecido por Corticalart - art from the cerebral cortex durante uma performance ao vivo em 1971, onde juntava sons eletrônicos com imagens cerebrais modelados pela variação da atividade neuronal.

Em 1990 dois cientistas, Benjamin Knapp e Hugh Lusted, iniciaram o desenvolvimento de um interface computacional designado por BioMuse, o qual permitia a um ser humano controlar certas funções do computador através de sinais bio-elétricos. Atau Tanaka, no ano de 1992, foi financiado por Knapp and Lusted para compor e interpretar música utilizando o controlador BioMuse. Mais tarde em 1996, Knapp e Lusted escreveram um artigo⁵³ para a *Scientific American* acerca do BioMuse intitulado *Controlling Computers with Neural Signals*, onde são referenciadas as técnicas utilizadas.

O EEG também inspirou vários artistas que utilizam diferentes tipos de tecnologia. Por exemplo, *On being invisible II* (1994/95), Rosenboom inclui luzes, vídeo e projetores de slides. Na peça *Mariko Mori's Wave UFO* (1999-2002), são ligadas ondas cerebrais de três participantes aos elementos audiovisuais, dentro de uma escultura-objeto de uma nave espacial, com o intuito de criar uma experiência interativa que convida os participantes a mergulhar num profundo estado de consciência, interligados consigo mesmos e com o universo, representando o conceito de unidade budista.

Na última década, a investigação relacionada com a aplicação dos sinais fisiológicos em áreas artísticas como a dança, a música, as artes digitais ou as artes performativas, tem tido um papel de extrema importância, sobretudo pela sua divulgação em diversos meios através de artigos, publicações, conferências, simpósios, instalações e alguns workshops que se foram realizando. Alguns exemplos disso são investigadores como Eduardo R. Miranda, Jessica Bayliss, Neam Cathode, David First,

⁵² ROSENBOOM, D., "The Performing Brain", *Computer Music Journal* 14, No. 1, 1990.- pp48-66.

⁵³ LUSTED, H.S. and Knapp, R.B., "Controlling Computers with Neural Signals". In *Scientific American*, 1996. – pp58-63

Andrew Brouse, Paras Kaul ou novos criadores como Adam Overton, Kiel Long, Mattia Casalegno, Luciana Haill ou Valery Vermeulen.

Haveria muito mais a dizer sobre todas as experiências realizadas com o recurso à tecnologia EEG para fins artísticos, desde 1960 e até à atualidade. Efetivamente, todas essas experiências foram determinantes na construção de um percurso que abriu novos caminhos à arte interativa.

Atualmente, a utilização de dados de EEG com multimédia continua a despertar o interesse de muitos investigadores e artistas. O recente desenvolvimento na área das tecnologias computacionais permitiu a exploração da ligação de equipamentos de EEG a variadíssimos softwares dedicados à criação sonora, visual e interativa, como é o caso de SuperCollider, OpenVibe, OpenFrameworks, Processing, Max/MSP and Jitter e Pure Data que, em última análise, resultaram em manifestações artísticas nunca antes exploradas.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1 Considerações preliminares

Como foi referido anteriormente, o que se pretende construir neste projeto é um sistema interativo que permita pôr em prática uma performance que envolva o compositor, o interprete e o espectador numa relação ação/reação. Nesse sentido, e numa escala de prioridades, foi necessário solucionar os três problemas que surgiram durante o desenvolvimento do mesmo:

1º Ter acesso a um equipamento de registo EEG para fazer os estudos necessários.

2º Encontrar os protocolos de comunicação adequados entre os equipamentos para que o sinal do registo EEG, possa chegar ao Max/MSP.

3º Construir um patch em Max/MSP and Jitter que permita receber e utilizar a média dos valores do *Excitement*, num determinado período de tempo, para ligar o patch de áudio e imagem.

O passo seguinte foi realizar dois estudos que demonstrassem a viabilidade da performance. O estudo 1 pretende observar a evolução gráfica os valores da potência de *Excitement* e de *Meditation* em relação aos estímulos provocados pela música. O estudo 2 propõe a experimentação do *patch* final com a aplicação do sistema idealizado tendo em vista o seu aperfeiçoamento.

3.2 O projeto

3.2.1 Composição musical

O processo de composição da peça foi desenvolvido e aperfeiçoado ao longo de todo o trabalho. Numa primeira fase, foi desenvolvida uma base musical de quatro minutos para o estudo 1, com o objetivo de criar uma simulação dos eventos musicais associados à performance final.

À medida que se foram realizando as experiências para o estudo 1, a composição esteve sujeita a diversas alterações, tanto no que respeita a estrutura de cada uma das partes (*loops*), como também nas opções relacionadas com os timbres ou o ritmo. Durante este processo, foi dada uma atenção criteriosa à elaboração de toda a composição musical, desde a escolha dos timbres e dinâmicas, aos motivos rítmicos e de espacialização do som que, em última instância, funcionarão como elementos estimulantes à posterior performance. Enquadrada num registo Ambient music, a composição pretende transportar o espectador para uma experiência sonora que estimule diferentes sensações e emoções ao longo da peça.

Para a criação da peça musical foram utilizadas as aplicações Logic Pro 9, Reason 5 e realizadas diversas gravações em estúdio de sons acústicos para o efeito pretendido. Outros softwares idênticos poderiam ter sido escolhidos para esta função. Contudo, tomou-se a opção de utilizar o Logic Pro 9 como software de gravação e de edição e o Reason 5 como extensão das livrarias sonoras, por serem estes os mais intuitivos na sua operacionalização e porque previamente já existia um maior domínio sobre eles.

Na fig. 6 está representada uma imagem do *layout* do Logic Pro 9, onde se podem verificar as diferentes gravações dos instrumentos utilizados na composição.

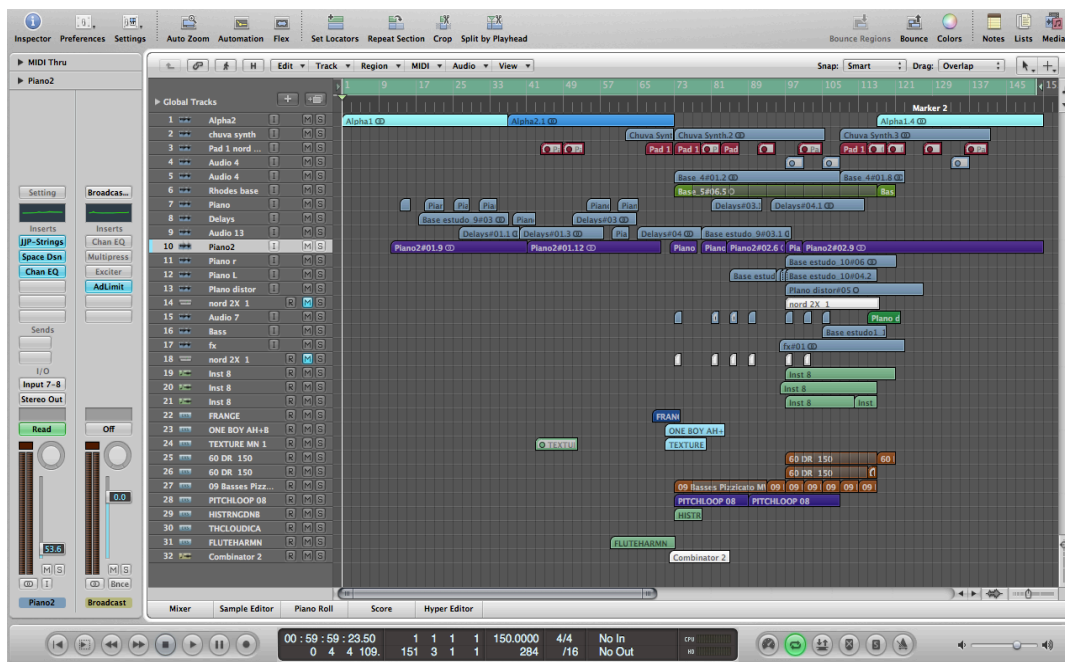


Fig.6 Imagem da sessão de trabalho no Logic Pro 9

3.2.1.1 Escolha e estrutura musical

A composição teve início com uma pequena melodia criada no piano Fender Rhodes Mark II⁵⁴, melodia esta que está sempre presente ao longo de toda peça, exceção feita ao primeiro *loop*, onde ainda não aparece. A composição tonal foi estruturada em quatro momentos/*loops* distintos, cada um com 19 segundos. Os *loops* são ligados em função da potência das médias do *Excitement* registadas pelo Emotiv, a cada 10 segundos, com a seguinte relação: *loop* 1 – para médias entre 0.1% e 25%, *loop* 2 – para médias entre 26% e 50%, *loop* 3 – para médias entre 51% e 75%, *loop* 4 – para médias entre 76% e 100% e todos os *loops* são executados de forma a não se sobreporem uns aos outros e, por conseguinte, só são ativados no fim de cada sequência.

A relação coerente entre todos os *loops* deve-se ao facto da harmonia se manter igual ao longo da peça. O primeiro *loop*, som *calmo* e envolvente, foi criado com um único ambiente contínuo produzido por diversos osciladores que gerem frequências, as quais surgem e desaparecem ao longo dos 19 segundos. Neste primeiro *loop*, criou-se um movimento *legato planante*, recorrendo ao modo maior, de forma a estabelecer uma associação deste com as médias baixas dos valores de *Excitement*. No *loop* 2, mantem-

⁵⁴ Piano eléctrico-mecânico inventado por Harol Rhodes em 1979

se o primeiro ambiente com a introdução da melodia minimal do Rhodes, criando pela primeira vez a noção de tempo. No *loop 3*, são adicionados vários elementos que transformam o *loop 2* num ambiente mais dinâmico, através de uma programação de percussão, de um contrabaixo, de uma série de efeitos criados por sintetizadores e de alguns *samplers* que nos transportam para um ostinato rítmico associado às médias altas. O *loop 4* é o momento mais explosivo de toda a peça e, para conseguir esse efeito, nele foram acrescentados uma bateria e um baixo elétrico a todos os elementos já apresentados, assim como uma série de sons que preenchem uma grande amplitude do espectro de frequências. O *loop 4* foi construído para criar uma maior densidade sonora, num tempo mais acelerado, que explore o conceito de polirritmia e que, em simultâneo, reúna um maior número de frequências durante 19 segundos, de forma a ser ligado apenas quando os valores das médias forem superiores a 75%.

Os quatro *loops* estão gravados no computador 2 e são ativados dentro do *software* Max/MSP em função das médias registadas da atividade neuronal. Em tempo real serão realizadas improvisações de piano sobre as partes gravadas, de forma a interagir com a maior ou menor atividade do espectador, seja agindo de modo a provocar maior ou menor atividade neuronal, ou, ao contrário, respondendo em função dessa atividade.

3.2.1.2 Construção do *patch* sonoro em Max/MSP

A construção do *patch*⁵⁵ sonoro, que está representado na fig. 7, é uma estrutura simples que recebe as médias convertidas em números (1, 2, 3 e 4) provenientes do *patch* de análise. O objeto *change* dá a instrução para parar o *loop* que estiver a tocar e, ao mesmo tempo, prepara o próximo *loop*, que só terá início quando o anterior terminar.

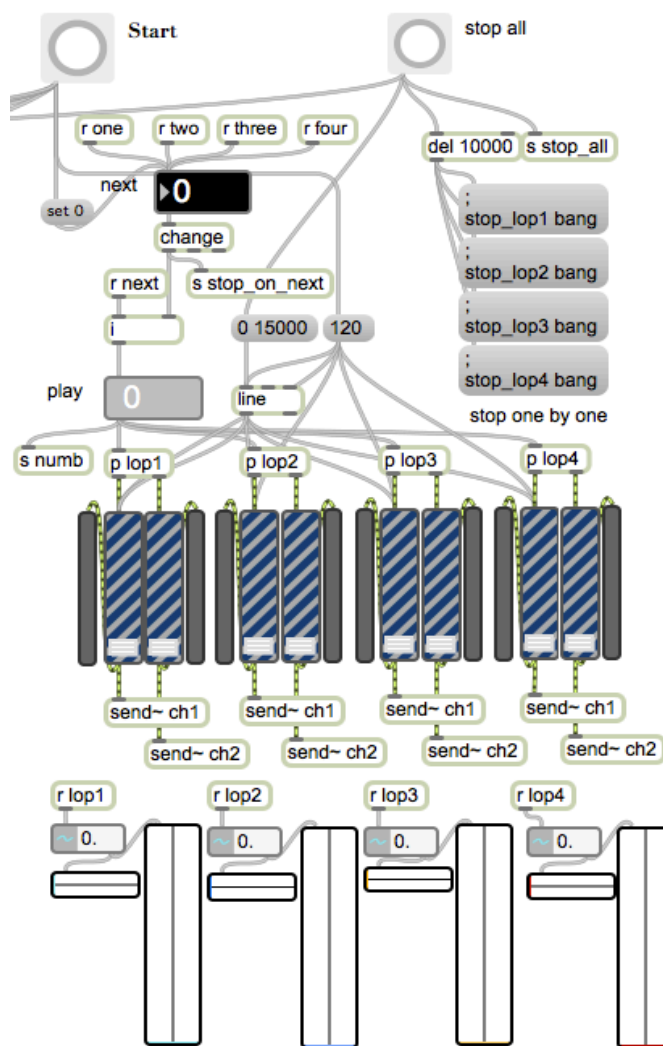


Fig.7 *patch* sonoro em Max/MSP

⁵⁵ *Patch* – Termo utilizado para definir as programações desenvolvidas no Max/MSP

Dentro de cada *subpatch*⁵⁶ está a estrutura de cada *patch* de som (fig.8), repetida quatro vezes e que lê cada um dos *loops* até ao fim, sempre que recebe o número correspondente.

Adicionalmente foi acrescentado a cada *patch* de som um pequeno *fade in* e *fade out*, gerido pelo objeto *line*, para evitar os indesejados *clicks* entre *loops*.

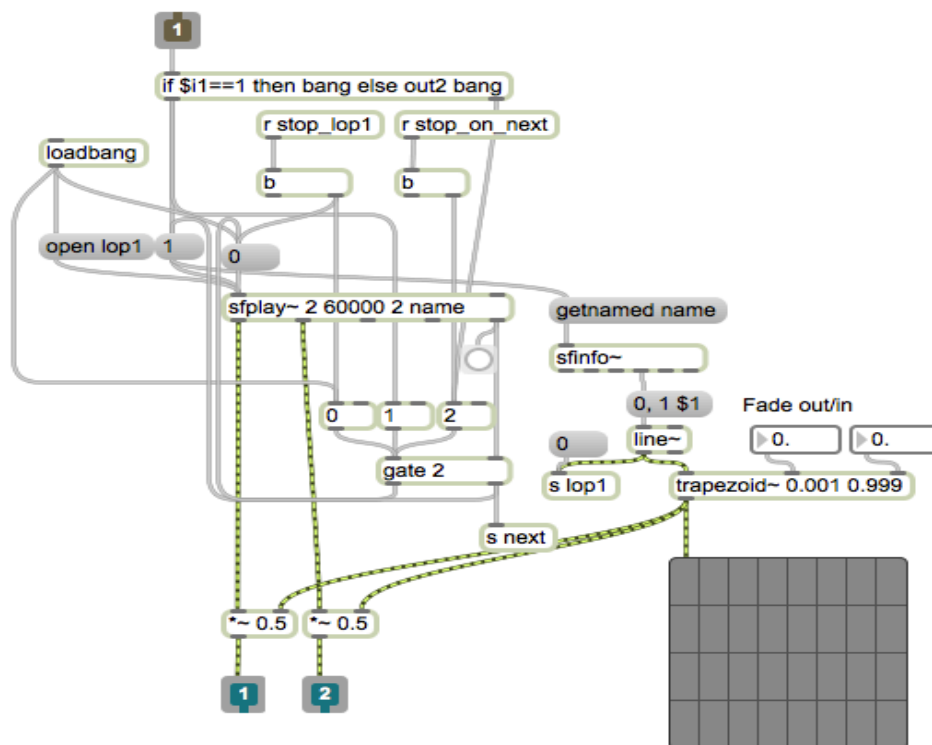


Fig.8 *subpatch* de som em Max/MSP

3.2.2 Conceção visual

No conceito gráfico inicial, pretendia-se utilizar cores que seriam projetadas através do Max, de forma a relacionar as gamas de frequência de cor com a potência medida pelo Emotiv. À medida que o projeto se desenvolveu, foi encontrado no fórum da comunidade Max, um *patch* gráfico desenvolvido por Andrew Benson. Esta ocorrência perspectivou outras potencialidades, dando origem ao abandono da ideia

⁵⁶ Subpatch são patches integrados no *patch* principal que são representados por objetos designados pela letra *p*.

inicial. O nome original do *patch* referido é *PartyLights* e resume-se num evento de explosões de partículas produzidas pelo objeto *Jit.gen*. Este, depois de ter sido adaptado, permitiu conseguir um controlo mais eficaz sobre a cor, a dimensão, a intensidade e a velocidade. É importante referir que o conceito de partilha de *patches* disponibilizadas nos fóruns do Max é uma prática recorrente entre os utilizadores, com a finalidade de contribuir para o desenvolvimento de outros projetos.

Considerando que o *patch* gráfico é uma representação conceptual da atividade neuronal, a opção de utilizar como base o *patch Partylights*, acrescenta ao projeto uma representação gráfica integrada por eventos musicais e eventos visuais que se interrelacionam de forma programada, com uma intenção artística e performativa, mas cujo resultado visual será sempre imprevisível.

3.2.2.1 Escolha e intenções gráficas

A utilização de um gerador de partículas foi uma escolha baseada no potencial que este contém em termos da representação gráfica pretendida. Na programação do gerador de partículas utilizam-se 9000 pontos inicializados a partir de uma posição predefinida, que vão evoluindo como uma explosão, dum ponto comum para diferentes posições da tela.

O que se pretende, por um lado, é relacionar os diferentes *loops* sonoros com quatro cores selecionadas, de forma a que cada cor evolua progressivamente para a cor seguinte, modelada pelos valores de *Excitement*. Por outro lado, os valores de *Engagement* e *Meditation* serão responsáveis pelo movimento da posição inicial da explosão de partículas sobre a tela, respetivamente com a coordenada x e y .

As opções mencionadas são meramente conceptuais e arbitrárias, naturalmente com a intenção de se relacionarem com a música de forma a contribuir para o enriquecimento visual desta performance específica.

3.2.2.2 Construção do *patch* gráfico em Jitter

Como demonstra a fig.9, o *patch* gráfico desenvolvido em Max é modelado por quatro entradas representadas pela cor verde. A primeira entrada é proveniente do *patch* sonoro que envia o número correspondente ao *loop* que estiver em execução (1,2,3 ou 4) para *patch* gráfico. Este por sua vez está ligado ao objeto *preset* onde estão gravadas quatro configurações de base relacionadas diretamente com os *loops*. Sempre que se altera um número, o objeto *preset* inicia uma nova configuração gráfica. A segunda entrada é feita pelos valores de *Excitement* em tempo real, que, através de vários objetos *scale*, produz variações nas partículas alterando a velocidade, o sentido da explosão, as frequências de cor e a intensidade. A terceira e a quarta entrada são atribuídas respetivamente ao *Engagement* (x) e *Meditation* (y), responsáveis pela posição inicial da explosão sobre a tela.

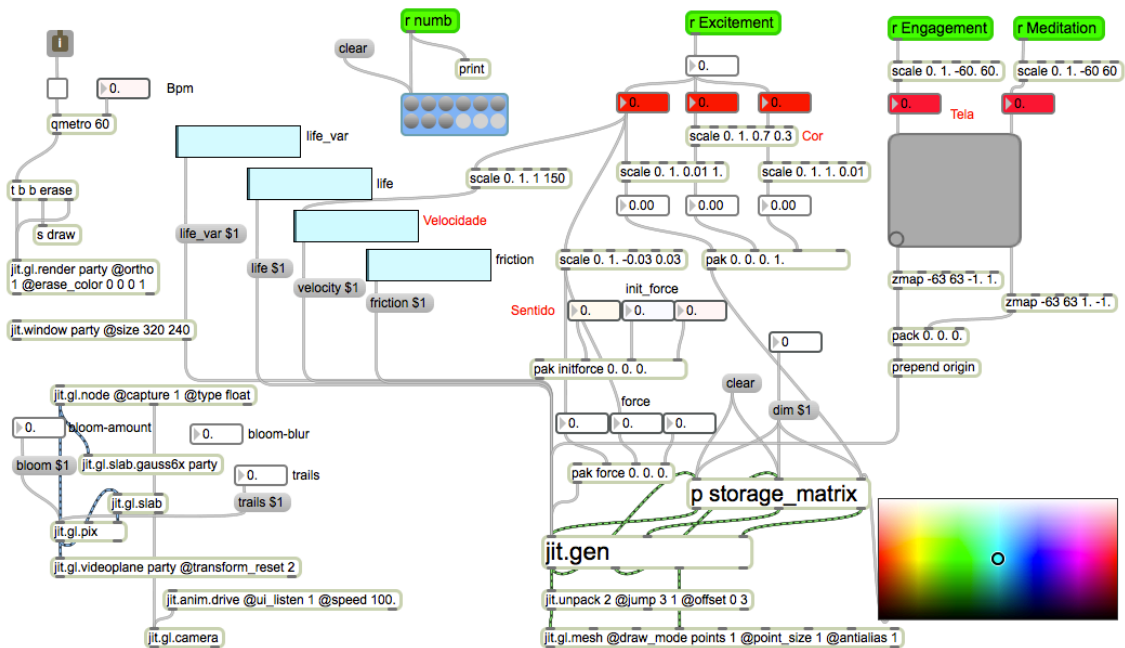


Fig.9 *patch* gráfico em jitter

3.2.3 Recepção e análise

Neste subcapítulo é explicado o funcionamento de dois *subpatches* fundamentais, um responsável pela recepção dos dados, e o outro pela análise das médias de potência enviadas pelo computador 1, respetivamente o *patch* de recepção e o *patch* de análise.

Como representa a fig.10, a recepção é feita pelo *subpatch* (*p mac*), associado ao *patch* principal do Max, que recebe os dados do Emotiv, pela porta 4200, provenientes do *software* Mind your OSCs. No objeto *OSC-route*, os valores são separados e reenviados para os objetos de entrada do *patch* sonoro e gráfico, através dos objetos *send* de cor vermelha.

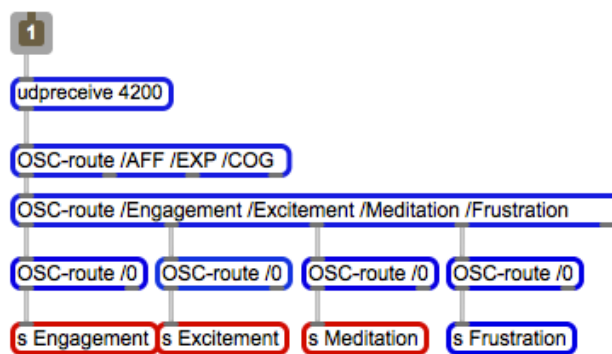


Fig. 10 *subpatch* de recepção em Max

No *patch* principal, representado pela fig.11, o objeto *receive*, (*r Excitement*, cor azul), transmite os valores de *Excitement* para o objeto *coll*, em amarelo, onde é preparada a lista de dados, para ser enviada, de dez em dez segundos, para o objeto *mean* (cor verde). Por sua vez, este calcula e transmite a média de todos os valores da lista para os objetos condicionais, de cor violeta, que convertem os números decimais nos números inteiros 1, 2, 3 e 4, fazendo ligar os *loops* e os gráficos correspondentes.

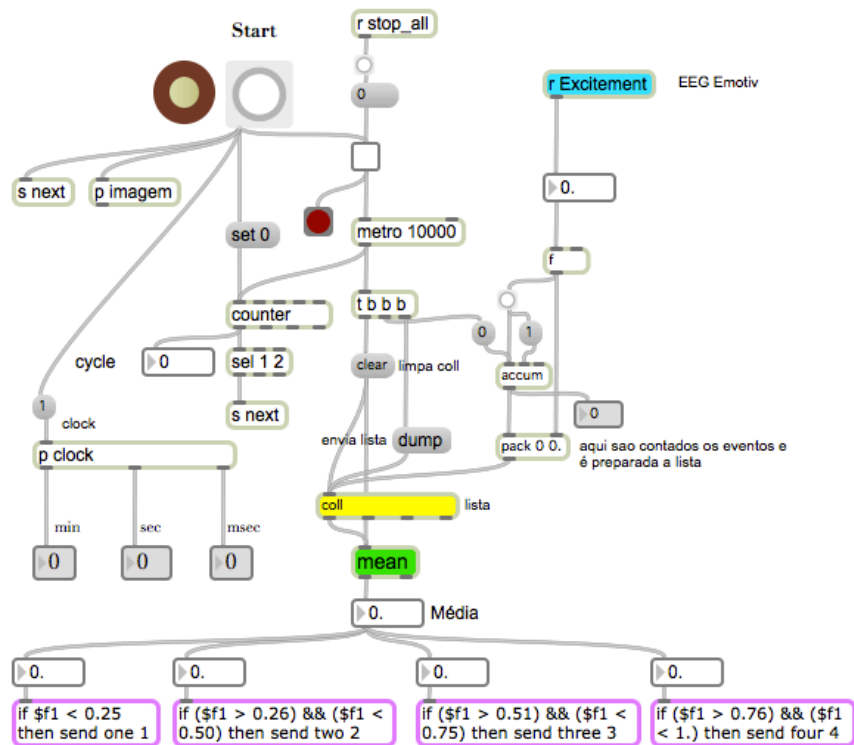


Fig.11 *patch* de recepção em Max

Foi desenvolvido um formato de apresentação do *patch* principal, para que o intérprete, durante as improvisações, possa acompanhar visualmente o estado e a evolução de cada um dos *loops*, utilizando para isso o objeto *rslider* associado a cores. Os números correspondente ao *loop* em execução e ao *loop* seguinte estão também representados no painel da fig.12, respetivamente designados por *play* e *next*. Desta forma, o intérprete poderá antecipar o que vai acontecer permitindo um maior domínio sobre as suas improvisações em relação aos eventos musicais.

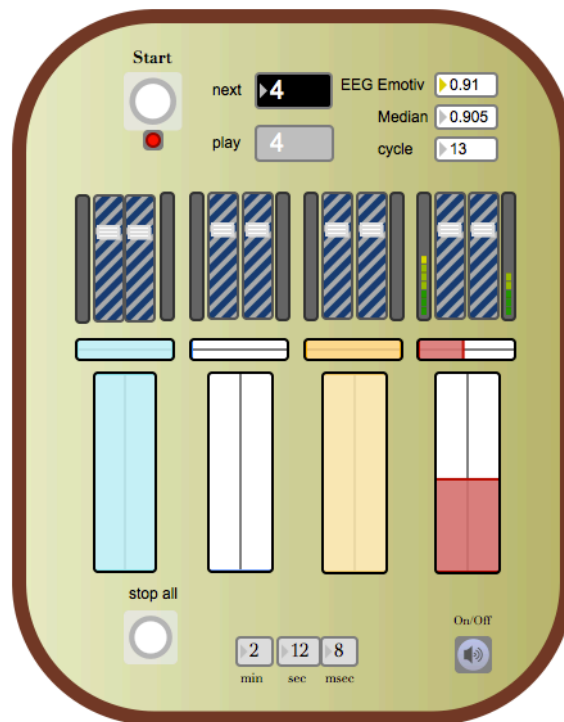


Fig.12 *patch* em modo de apresentação

3.2.4 Arquitetura do sistema

Nos próximos três subcapítulos são descritos os sistemas idealizados para a aquisição e processamento do sinal fisiológico, assim como todo o *routing* que permite a comunicação de dados entre softwares e equipamentos utilizados na construção da performance.

3.2.4.1 Aquisição e processamento do sinal neuronal

O sistema foi concebido para analisar o sinal da atividade neuronal representada por *Excitement*, *Meditation* e *Engagement*, extraindo a média da potência, numa escala decimal entre 0.1 a 1, para controlar os diferentes patches.

Numa primeira fase, foi considerada a utilização para todo sistema, do software Testbench, apenas, o qual é fornecido com o dispositivo Emotiv EPOC. No entanto, o software utiliza filtros e técnicas de processamento com acesso restrito sendo por isso necessário desenvolver novas estratégias.

Apesar deste *software* permitir exibir os níveis de *Excitement*, *Meditation*, *Engagement* e *Frustration* do utilizador, não seria possível usá-lo exclusivamente para construir o sistema ou realizar os estudos pretendidos sem saber como esse valor foi calculado ou como o sinal foi tratado previamente. Além disso, o fluxo de dados a partir deste *software* para ser utilizado em Max/MSP não era possível sem o uso de *software* adicional. Portanto, para esse efeito foram utilizados dois *software*'s: Mind WorkStation e o Mind your OSCs. No estudo 1, o Testbench foi complementado com o Mind WorkStation⁵⁷ para o registo e a construção dos gráficos dos valores de *Excitement* e de *Meditation* aos estímulos da música; no estudo 2, foi utilizado o Mind your OSCs que existe com a finalidade de transmitir os valores do Control Panel para outros *softwares*, neste caso para o Max/MSP como mensagens OSC.

Foi ainda considerada a utilização de uma caixa de ferramentas de processamento de EEG para Matlab⁵⁸, que se designa por EEGLAB⁵⁹. Infelizmente, este *software* não reúne as condições necessárias para o processamento do sinal em tempo real. Na fig.13, está representado um esquema do fluxo de sinal para uma melhor compreensão do mesmo.

⁵⁷ Mind WorkStation (MindWS) é um *software* profissional com múltiplas funções utilizado pela maioria dos investigadores para estudos neurocientíficos. Para mais informações consultar o *site* <http://www.transparentcorp.com/products/mindws/index.php>

⁵⁸ MATLAB (MATrix LABoratory) é um *software* interativo de alta performance baseado no cálculo numérico. Para mais informações consultar o *site* <http://www.mathworks.com/products/matlab/>

⁵⁹ EEGLAB – Open Source Matlab Toolbox for Electrophysiological Research disponível em <http://scn.ucsd.edu/eeglab/>

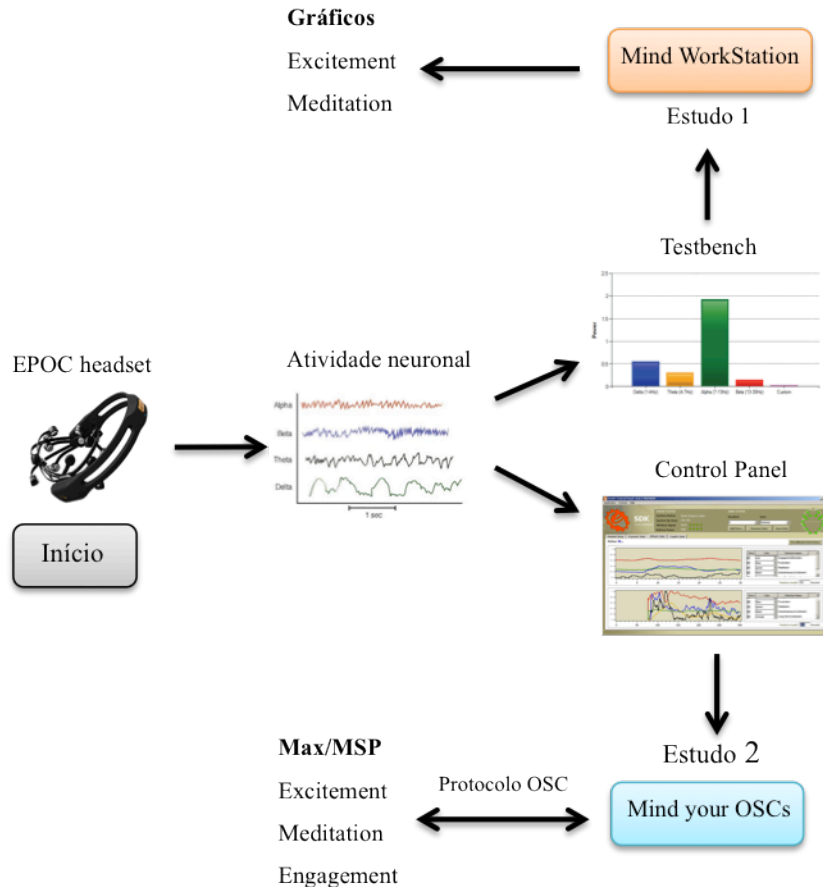


Fig.13 Esquema representativo do fluxo de sinal

3.2.4.2 Comunicação de dados entre softwares e equipamentos

Para a aplicação nas experiências do estudo 1 e 2, em termos de *hardware*, como se pode ver na fig.14, foram utilizados dois computadores, um Emotiv EPOC *headset* e um par de colunas. Como *software* utilizaram-se o TestBench, o Control Panel, o Mind Workstation, o Mind your OSCs e o Max/MSP and Jitter.

A aquisição e processamento de sinal provenientes do EPOC *headset*, ocorre no TestBench para o estudo 1, e no Control Panel para o estudo 2, instalado no primeiro computador com o sistema Windows, enquanto o som e a componente gráfica acontece num segundo computador com o sistema *Snow Leopard* da Apple. O protocolo *OSC*, como referido anteriormente, permite a sincronização e a partilha de dados entre os dois computadores.

O sinal EEG do utilizador, captado pelo Control Panel, é enviado para o

Max/MSP sob a forma de *Excitement, Meditation e Engagement*, através do software YourMindOSC. No Max/MSP é efetuado o mapeamento dos resultados que irão modelar certos parâmetros do *patch* de áudio e gráfico.

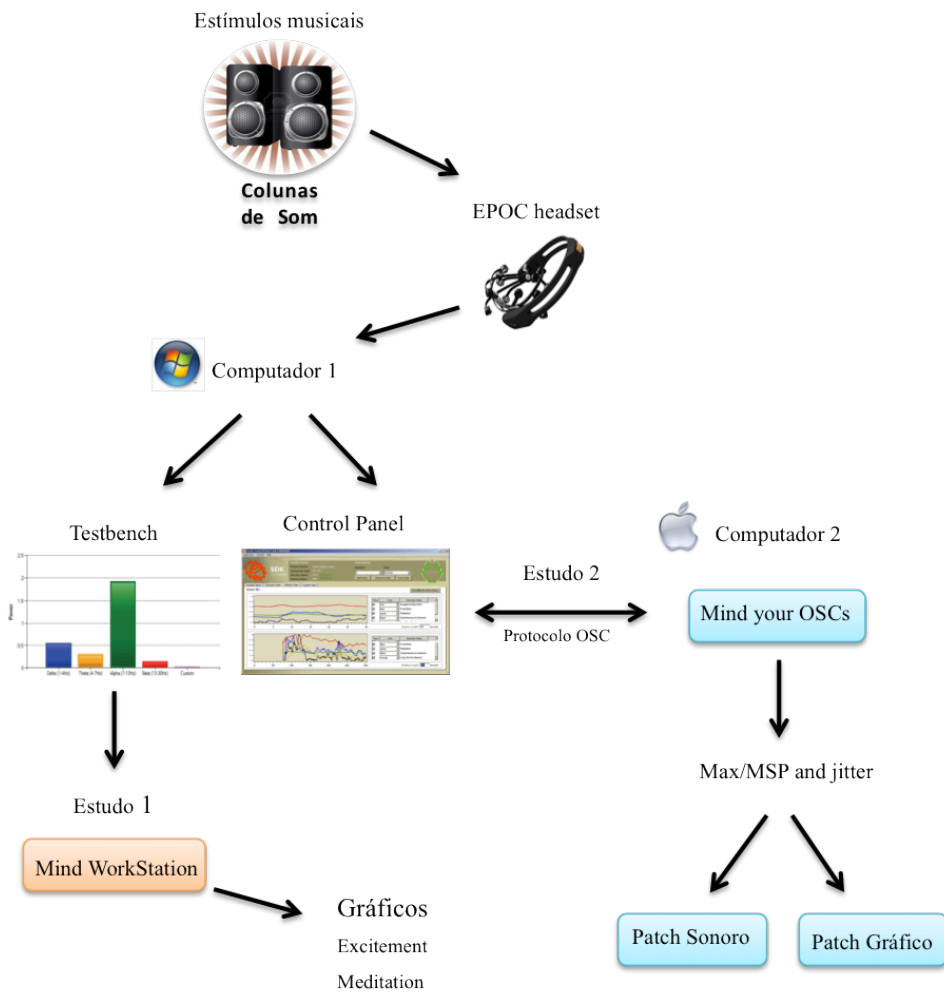


Fig.14 Esquema representativo da comunicação de dados entre *softwares* e equipamentos

4 ESTUDOS

4.1 Estudo 1

O objetivo deste estudo foi representar graficamente uma possível relação entre os valores da potência de *Excitement* e de *Meditation* e a música criada, sobretudo para compreender de que forma as escolhas musicais se relacionam com os estados emocionais. Os gráficos apresentados no subcapítulo 4.1.1 são algumas das recolhas efetuadas permitindo uma observação clara do estudo realizado.

O ficheiro de som (fig.15), de quatro minutos utilizada para o efeito, foi composta com improvisos de piano e sintetizadores sob uma sequência dos quatro *loops*, com a intenção de simular a sonorização da performance. A *wavelet*⁶⁰, determinada a partir do ficheiro de som original, está representada na fig.16, onde se pode observar a evolução espectral das frequências da música ao longo dos quatro minutos.

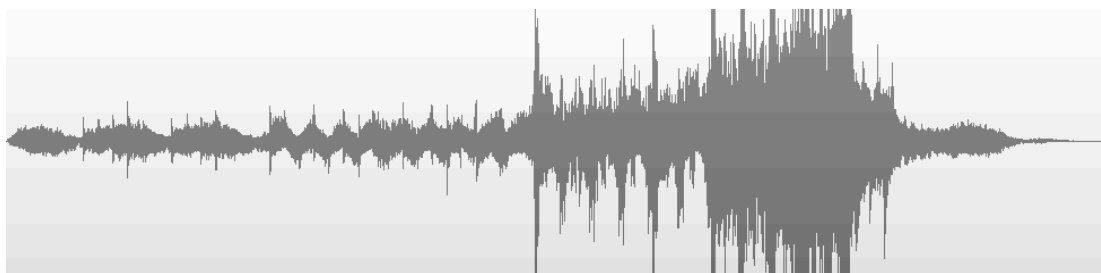


Fig.15 Representação gráfica da amplitude do ficheiro de som original

⁶⁰ *Wavelet* – É uma função matemática semelhante à análise de Fourier capaz de decompor ou representar outra função. Neste caso, a *wavelet* faz a análise ao longo do tempo do espectro das frequências, ao contrário da representação FFT onde apenas se pode extrair informações sobre o domínio da frequência. A representação é apresentada usando uma escala logarítmica de frequências. Esta característica permite uma melhor adequação entre a representação visual e a sensação auditiva.

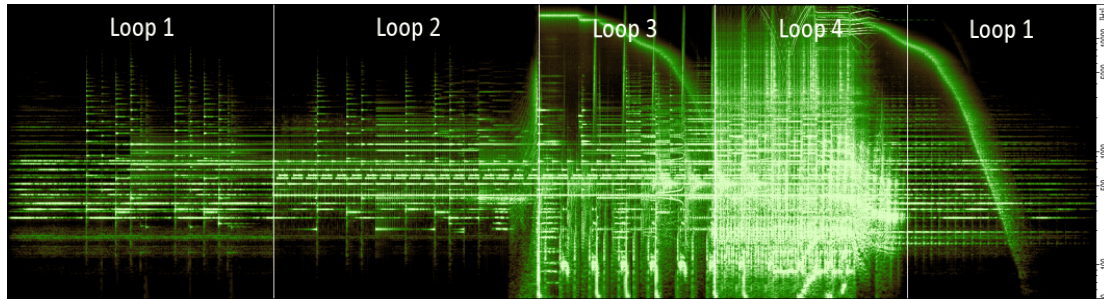


Fig.16 Imagem da *wavelet* produzida através do ficheiro de som original

Durante as experiências, foi solicitado aos participantes que fechassem os olhos durante cada sessão (fig.17), para que os estímulos visuais não interferissem na audição. Os participantes foram sujeitos aos estímulos da música, durante cinco minutos por cada recolha, sendo o minuto inicial apenas de silêncio para que se proporcionasse algum relaxamento antes dos quatro minutos de som.



Fig.17 Fotografias de algumas sessões realizadas para o estudo 1

4.1.1 Recolhas realizadas com o Emotiv

As recolhas da atividade neuronal efetuadas durante três dias, foram realizadas na sala negra da ESMAE do Porto, um espaço multifunções dedicado a ensaios de teatro, dança e performances. O estudo realizado não teria sido possível sem a colaboração do coletivo μ ARTs. Em sua representação, estiveram o Professor Horácio Tomé Marques, especialista em estudos visuais e multimédia, e o neuropsicofisiologista Francisco Marques-Teixeira, que com a sua experiência e conhecimentos técnicos, foram imprescindíveis nas recolhas realizadas.

Como se pode verificar, os gráficos dos participantes 2 e 5, não músicos, (fig.18), representam claramente uma subida dos valores de *Excitement* nos loops 3 e 4, precisamente nos momentos musicais mais intensos, onde o ritmo e o timbre é mais explorado.

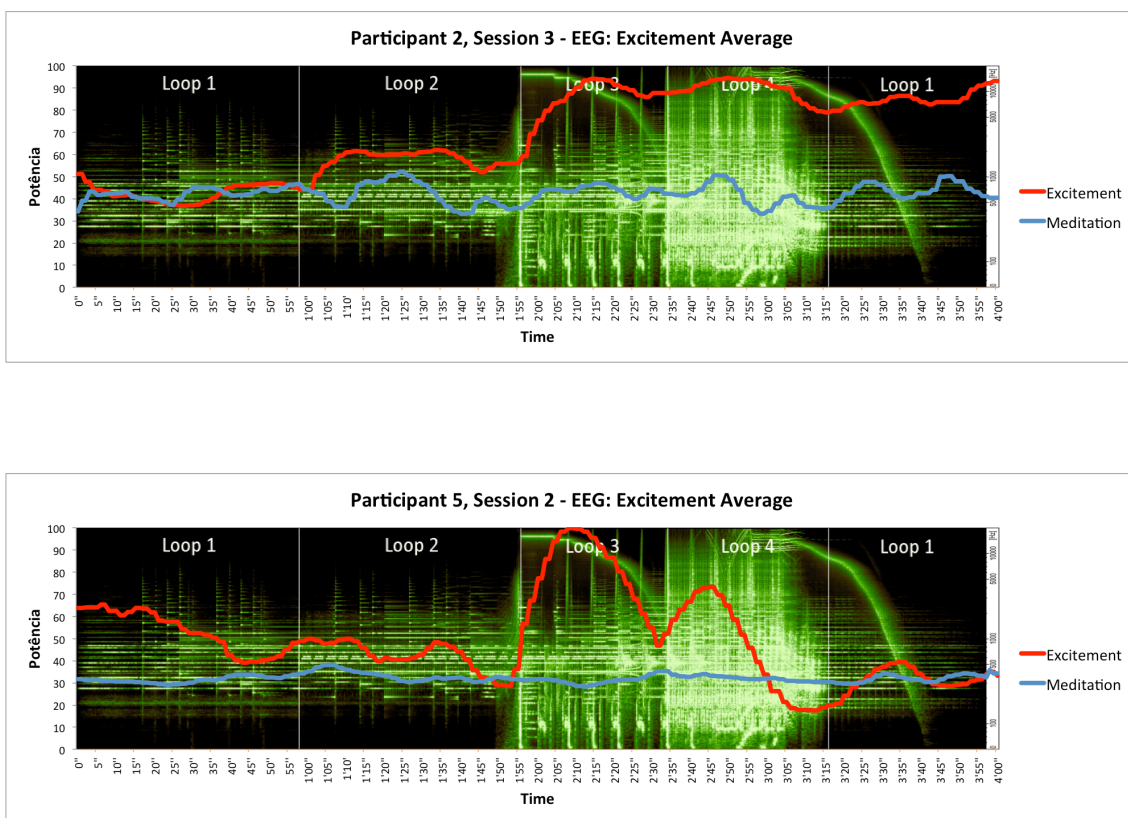


Fig.18 Gráficos de duas sessões realizadas com os participantes 2 e 5

Por outro lado, os gráficos dos participantes 1 e 4, músicos (fig.19), representam uma maior intensidade dos valores de *Meditation* ao longo da música. Uma das causas possíveis poderá estar relacionada com o facto dos participantes 1 e 4 serem músicos e a sua percepção auditiva estar familiarizada com os diferentes tipos de sons. Estes gráficos sugerem um percepção diferenciada em relação àqueles obtidos pelos participantes 2 e 5.

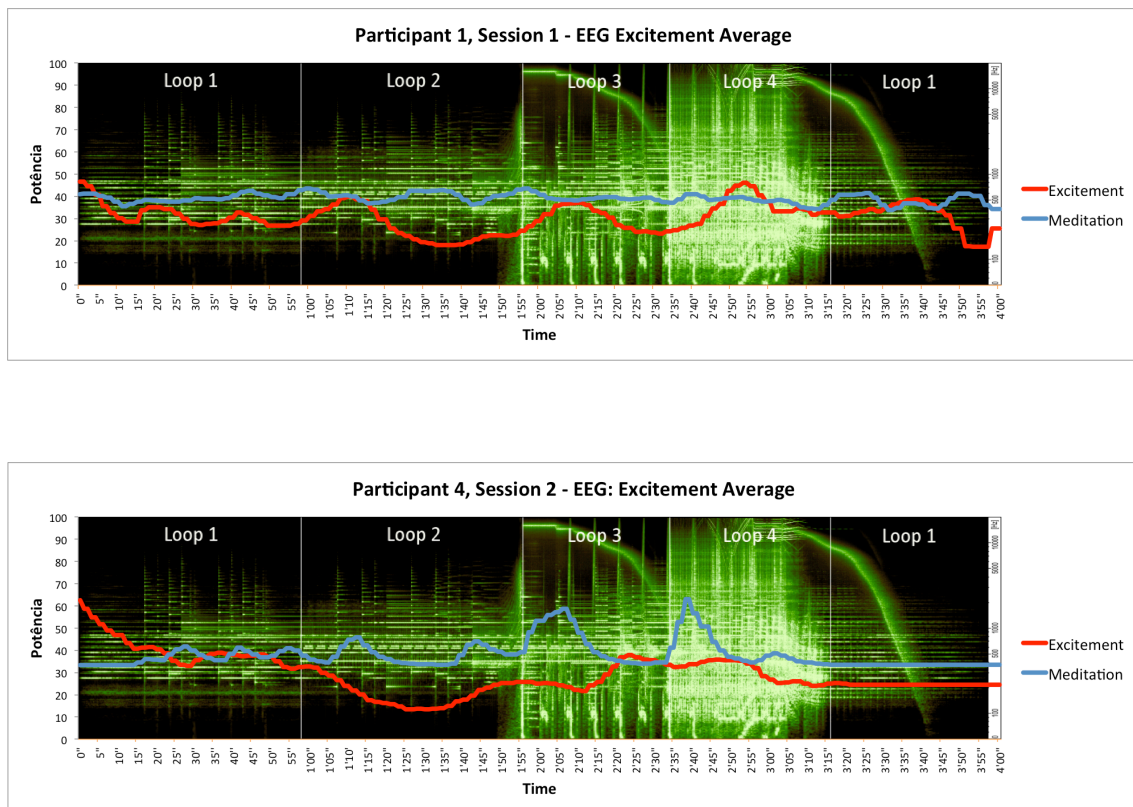


Fig.19 Gráficos de duas sessões realizadas com os participantes 1 e 4

Na fig.20, foram reunidos os gráficos de três sessões realizadas, no mesmo dia, pelo mesmo participante - o participante 3, com vista a uma observação do comportamento da evolução da atividade durante três sessões consecutivas, sem interrupção, as quais implicam potencialmente uma aprendizagem e habituação.

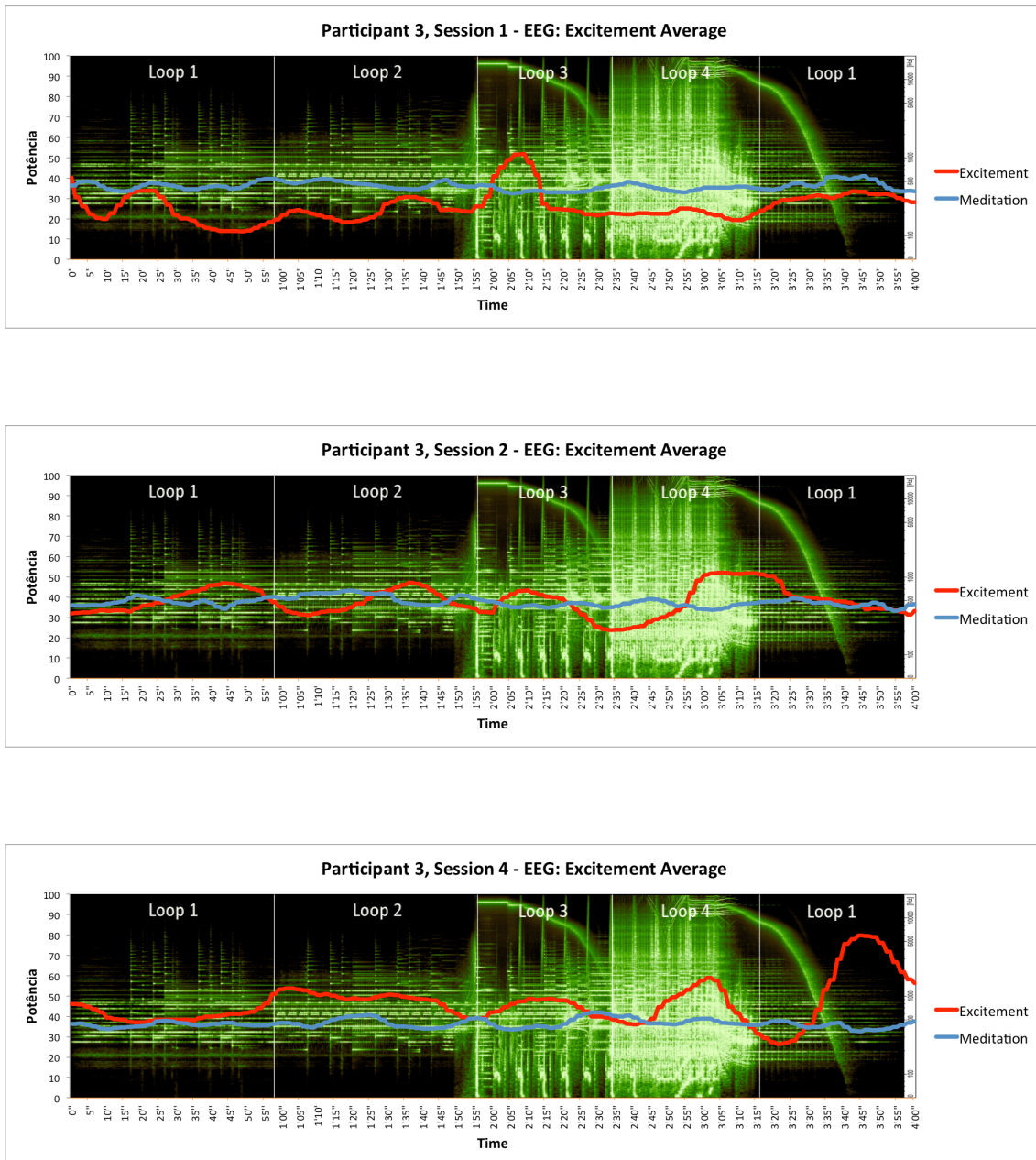


Fig.20 Gráficos de três sessões realizadas com o participante 3

4.1.2 Problemáticas

Em termos de dados observados com maior relevância para o projeto, consideramos o estudo 1 como uma das experiências realizadas mais interessantes, devido ao facto de podermos observar graficamente a evolução da atividade cerebral relacionada com a percepção auditiva do espectador. Tendo em conta que este trabalho é um projeto artístico com um propósito bem definido, o de desenvolver uma performance no âmbito das tecnologias interativas, as conclusões que a partir do estudo 1 se podem retirar, servirão exclusivamente para uma melhor compreensão da sua aplicabilidade em contexto performativo. Para um estudo de teor diferente e com um carácter científico mais aprofundado, teria que ser realizado um maior número de recolhas entre participantes músicos e não músicos, e teriam que ser tomadas em consideração um conjunto de normas e modelos científicos para que as experiências fossem efetivamente validadas e conclusivas. Contudo, como claramente se definiu, não é este o propósito do presente estudo, não obstante todas as ilações pertinentes que dele se possam retirar, poderão servir como caminho para o aprofundamento de estudos futuros.

As sessões apresentadas revelam uma variação permanente e significativa dos valores de *Excitement* ao longo do tempo. Esta variação demonstra que a escolha deste parâmetro para os valores de entrada nos *patches* principais do Max/MSP foi a mais adequada.

Face às experiências realizadas, é pertinente questionar: As variações dos valores registados de *Excitement* e de *Meditation*, observadas nas diferentes sessões, poderão estar relacionadas com os estímulos musicais propostos? Como ficou demonstrado, o estudo 1 revela que a atividade neuronal sofre variações em termos de *Excitement* e *Meditation* quando está exposta à música. Estudos mais aprofundados poderão permitir a elaboração de um padrão que relacione os sons com a forma como percebemos a música.

É de referir ainda que outras questões se foram impondo à medida que este estudo foi evoluindo, como exemplo:

- A familiaridade com a música pode revelar maior atividade de *Meditation* entre os participantes músicos?

- O fator surpresa, quando percebemos auditivamente uma música pela primeira vez, deve ser considerado?
- Numa recolha de várias sessões, com o mesmo participante, podemos concluir que existe maior afinidade com a música pela sua repetição?

Embora conscientes da importância destas questões, no contexto do presente trabalho, delimitou-se que não seria fundamental dar de imediato uma resposta universalizante a reflexões como estas, as quais merecerão um estudo mais elaborado com a dimensão e a profundidade de um novo projeto de mestrado ou de doutoramento.

4.2 Estudo 2

Para a realização do estudo 2 apenas foi possível a colaboração de um dos participantes. O facto do estudo 1 necessitar de um maior número de participantes e a sua consequente representação gráfica dos resultados das experiências, justifica uma dimensão superior de análise em relação ao estudo 2.

Após as experiências efetuadas durante estudo 1, foi possível compreender de que forma, a potência dos valores associados ao *Excitement* e *Meditation* provenientes do Emotiv, poderiam modelar os diferentes *patches* desenvolvidos no Max para a aplicação no estudo 2.

O estudo 2 centra-se na experimentação do *patch* final com a aplicação do sistema idealizado tendo em vista o seu aperfeiçoamento. Nesse sentido, foram realizados alguns testes a um dos participantes com o EPOC *headset* conectado ao sistema sem a intervenção do intérprete. O que se pretendia era apenas verificar se o *patch* desenvolvido respondia eficazmente às variações da atividade neuronal do espectador. As imagens representadas pela fig.21 demonstram a resposta do *patch* gráfico às experiências.

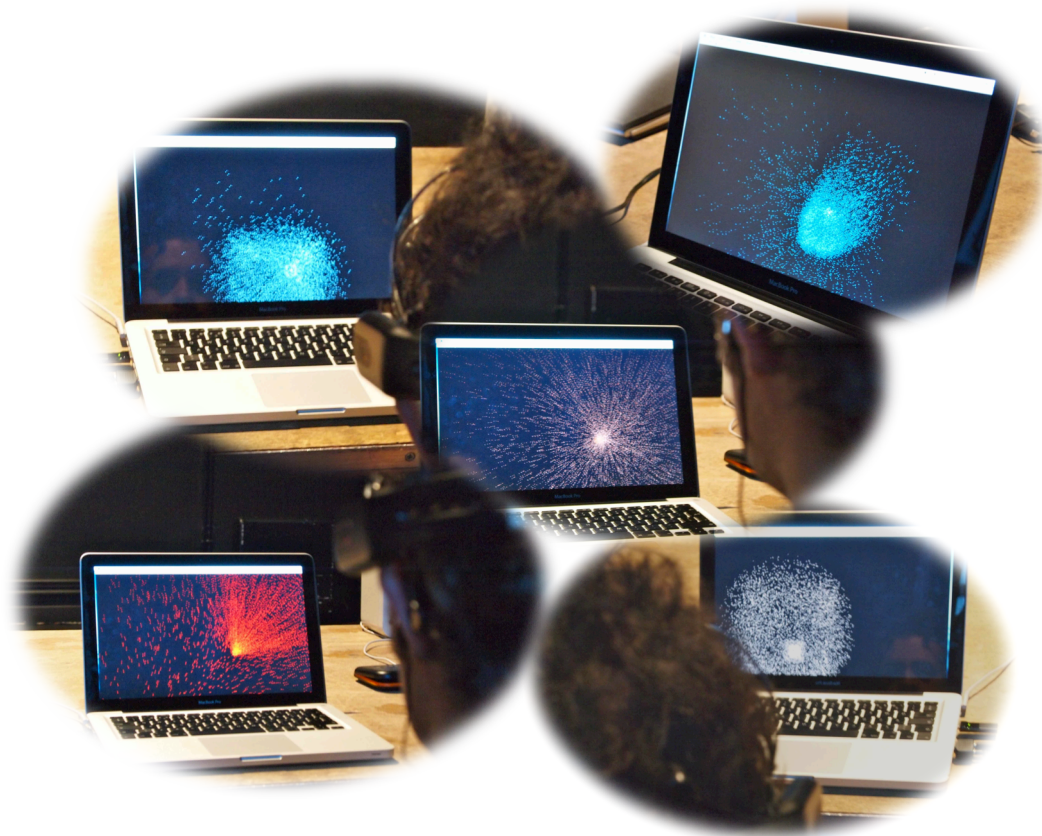


Fig.21 Imagens do *patch* gráfico provenientes do estudo 2

Efetivamente o resultado verificado por este estudo conclui que o sistema pode ser aplicado em contexto performativo.

Devido à impossibilidade de representar neste documento a resposta do *patch* sonoro aos eventos, foram compilados num DVD, referenciado como anexo 1, todos os trabalhos em formato áudio, vídeo, fotografia e Max/MSP considerados pertinentes à ilustração das diversas fases do projeto, inclusive as experiências relacionadas com o estudo 2.

5 CONCLUSÃO E DIREÇÕES FUTURAS

A realização deste trabalho permitiu o aprofundamento de conhecimentos inerentes à utilização do Emotiv EPOC dentro de sistemas interativos aplicados à arte, implicando para isso a aprendizagem e o domínio na operacionalização de diferentes softwares e equipamentos.

No estudo 1, foi demonstrada a possibilidade de explorar caminhos no âmbito de estudos da percepção auditiva e das respostas emocionais à música.

O *patch* interativo desenvolvido em Max para o estudo 2, permitirá a sua utilização em projetos futuros que pretendam controlar diferentes tipos de eventos, em tempo real, aplicados não só à arte mas também a áreas como a saúde, nomeadamente neuropsicofisiologia, ou robótica.

Na fase final do trabalho, teria sido uma mais valia ensaiar a performance com a intervenção do intérprete, de forma a testar a interação entre os três agentes para a apresentação final do projeto artístico. Contudo, só foi possível ter acesso ao equipamento Emotiv durante a realização dos dois estudos referidos, por gentileza do coletivo μ ARTs, contingência essa que determinou a inviabilidade desse ensaio.

Para a concretização da futura performance, será necessário realizar experiências envolvendo diferentes participantes, com o objetivo de melhorar e explorar o controlo de todos os parâmetros definidos, inclusive a programação de novos objetos dentro do *patch* principal, com vista ao aperfeiçoamento dos detalhes, tanto técnicos como estéticos, da performance final.

Finalmente, é preciso referir que este é um projeto em aberto, uma idealização estudada das possibilidades que se podem demonstrar até ao presente momento, na presença dos recursos atuais tecnicamente desenvolvidos. Tudo o resto, aponta agora para a vontade inevitável de mais descobertas no mesmo sentido, o cérebro por desvendar. Até agora, o que se pode delimitar é um caminho iniciado que tem muito que

percorrer. Recorrendo às sondas que já projetam um próximo futuro, este foi um esforço conjugado entre as potencialidades apontadas pela ciência e uma vontade artística que conjugou sons e imagens que refletem atualmente uma ínfima mensagem em progressão.

Bibliografia

- BERGER, H. *Über das elektroencephalogramm des menschen*. Arch Psychiatr Nervenkr, 1929. - pp528-570
- BREGMAN B., *A Bradford Book*, MIT Press, Cambridge, MA, and London, 1990. - 736pp
- BURRUS, C.S., Gopinath, R.A. and Guo, H.. *Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms*. Prentice Hall, 1997.
- CAHN, B. Rael, Polich, John. "Meditation States and Traits: EEG, ERP, and Neuroimaging Studies", in *Psychological Bulletin*, vol. 132, No.2, American Psychological Association, 2006. – pp180-211
- COLLURA, Thomas. "History and Evolution of Electroencephalographic Instruments and Techniques", Section of Neurological Computing, Department of Neurology, The Cleveland Clinic Foundation, Cleveland, Ohio, U.S.A., in *Journal of Clinical Neurophysiology*, New York: Raven Press, Ltd., 1993. - pp476-504
- EATON, Manford L., *Bio-potentials as control data for spontaneous music*, Kansas City: Mo., ORCUS Research Co., 1968.
- FELS, Sidney. "Intimacy and Embodiment: Implications for Art and Technology". In: *Proceedings of ACM Conference on Multimedia*, 2000. - pp13
- GABRIELSSON, A., Lindström, E.,. *Music and Emotion - Theory and Research*. Series in Affective Science, New York: Oxford University Press, 2001.
- HARRER, G., & Harrer, H. "Music, emotion, and autonomic function". In Critchley, M. & Henson, R. A. (Eds.), *Music and the brain. Studies in the neurology of music*, London: William Heinemann Medical Books, 1977. - pp202-216
- HIRSHKOWITZ, M., Earle, J., & Paley, B. "EEG alpha asymmetry in musicians and nonmusicians: A study of hemispheric specialization". *Neuropsychologia*, vol. 16 issue 1, 1978. – p125-128
- HÖÖK, K., Sengers, P. and Andresson, G. "Sense and Sensibility: Evaluation and

- Interactive Art”, In Proceedings of Computer Human Interaction, CHI’2003, ACM Press New York, 2003. – 241pp
- JUSLIN, P. N. “Emotional responses to music”. In S. Hallam, I. Cross, & M. Thaut (Eds.), *The Oxford Handbook of Music Psychology*. Oxford: Oxford University Press, 2009. - pp131-140
- LUCIER, Alvin. Music for Solo Performer, LP record, #VR 1014, New York: Lovely Music, Ltd., 1982. CD
- LUSTED, H.S. and Knapp, R.B., “Controlling Computers with Neural Signals”. In: *Scientific American*, October,1996. – pp58-63
- MARK, S. Schwartz, Frank, Andrasik. *Biofeedback: A Practitioner’s Guide*, New York, The Guilford Press, 2003.
- MIRANDA, E. R., “Brain-computer music interface for composition and performance”, in *International Journal on Disability and Human Development*, 5(2): 2006. - pp119-125
- PERETZ, I., “Towards a neurobiology of musical emotions”. In P.N. Juslin & J.A. Sloboda (eds) *Handbook of Music and Emotion: Theory, Research, Applications*. Oxford: Oxford University Press, 2010. - pp99-126
- PERETZ, I., Gagnon, L., Bouchard, B., *Music and emotion: perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage*. *Cognition* 68 (2), 111–41, 1998.
- PETSCHKE, H., Richter, P., Von Stein, A., Etlinger, S. C., & Filz, O., “EEG coherence and musical thinking”. *Music Perception*, 11(2), 1993. - pp117-151
- ROSENBOOM, David. “Extended Musical Interface with the Human Nervous System”, in *LEA Electronic Monographs*, no. 1, ISAST,1997.
- ROSENBOOM, David. “The Performing Brain”, *Computer Music Journal* 14, No. 1, 1990. - pp48-66
- SCOTT, Donald. *Understanding EEG: an introduction to electroencephalography*, Duckworth, London, 1976.
- SLOBODA, J., “Musical ability”, in G.R. & Ackrill, K.A. Ackrill. *The Origins and Development of High Ability* (Ciba Foundation Symposium) Chichester; Wiley, 1993.

TEITELBAUM, Richard, "In Tune: Some Early Experiments in Biofeedback Music (1966-1974)," in *Biofeedback and the Arts, Results of Early Experiments*, ed. D. Rosenboom, 39, Aesthetic Research Center of Canada Publications, Vancouver, 1976.

WALTER, W. Grey, *The Living Brain*. New York: W.W. Norton, 1953.

ZILLMER, E. A., Spiers, M. V., Culbertson, W. C., "Principles of neuropsychology" (2nd edition). Belmont, CA: Wadsworth, 2008.

Glossário:

BCI - Brain computer interface é um dispositivo que permite a comunicação direta entre o cérebro e um dispositivo externo.

ECG - Eletrocardiograma

EEG - eletroencefalografia - técnica que permite registar a atividade elétrica do cérebro.

EEGLAB – Open Source Matlab Toolbox for Electrophysiological Research disponível em <http://scn.ucsd.edu/eeglab/>

Emotiv Systems - Empresa Australiana que desenvolve interfaces cérebro-computador com base em EEG.

Emotiv EPOC *headset* – É um interface interativo que usa sensores para detetar os sinais elétricos produzidos pela atividade neuronal.

ERP - Event Related Potential é o registo da resposta do cérebro que se traduz no resultado direto de um evento ou de uma sensação específica, cognitiva ou motora.

FFT ou DFT - Fast/ Discrete Fourier transform.

Neurofeedback - também denominado por retroinformação neurológica, neuroterapia, neurobiofeedback ou EEG biofeedback, é um tipo de biofeedback que utiliza métodos de eletroencefalografia ou ressonância magnética, exibidos em tempo real, com a finalidade de ilustrar a atividade cerebral, geralmente com o objetivo de controlar a atividade do sistema nervoso central.

Max/MSP and jitter - é um software interativo de linguagem de programação visual para música e multimédia desenvolvido pela empresa Cycling74.

Excitement – termo utilizado pelos criadores do equipamento de EEG Emotiv e é definido como uma percepção ou sensação de excitação fisiológica com um valor positivo. Excitação é caracterizada pela ativação do sistema nervoso simpático, o que resulta numa variedade de respostas fisiológicas, incluindo a dilatação das pupilas, o alargamento do olho, a estimulação da glândula sudorípara, a frequência cardíaca, o aumento da tensão muscular, o desvio de sangue, e a inibição digestiva.

Meditation – termo utilizado pelos criadores do equipamento de EEG Emotiv que não esclarece os seus princípios teóricos. No meio científico o termo *Meditation* tem sido alvo de inúmeros estudos pelo facto de ser difícil de definir. Segundo Chan e Polich, o termo *Meditation* é usado para descrever práticas que auto regulam o corpo e a mente através de diversos métodos que implicam o envolvimento da atenção (Chan and Polich, 2006). Outro estudo realizado por Sarah Dolgonos, Hari Mulukutla e Clara Moissello intitulado *How does meditation affect the brain? Insights from EEG*, o conceito de *Meditation* pode ser classificado por dois tipos - *Mindfulness*: observação de pensamentos e sentimentos que surgem sem uma intenção ou reação (por exemplo, Zen, Vipassana), e *Concentrative*: Foco sobre uma específica atividade mental ou sensorial, como verbalizar de forma repetida, ou a cultura de um determinado estado de espírito (por exemplo, a meditação da compaixão, meditação transcendental, repetição de um mantra).

Engagement - termo utilizado pelos criadores do equipamento de EEG Emotiv e é definido como uma experiência relativa à vigilância e à direção consciente da atenção para estímulos provenientes de tarefas relevantes. É caracterizada por um aumento da excitação fisiológica das ondas *beta*.

MATLAB (MATrix LABoratory) é um *software* interativo de alta performance baseado no cálculo numérico.

Mind WorkStation (MindWS) é um *software* profissional com múltiplas funções utilizado pela maioria dos investigadores para estudos neurocientíficos.

Mind your OSCs - é um *software* baseado em OSC (Open Sound Control) que permite enviar dados do Emotiv EPOC para qualquer aplicação que receba OSC. Este *software* foi desenvolvido e registado em SourceForge.net em abril de 2010. Para mais informações consultar o site <http://mindyouroscs.sourceforge.net/>

OpenVibe - *Software* criado para ser utilizado em tempo real por interfaces computador cérebro nas neurociências.

Patch – Termo utilizado para definir as programações desenvolvidas no Max/MSP

Wavelet – É uma função matemática semelhante à análise de Fourier capaz de decompor ou representar outra função.

Lista de Figuras

Fig.1 O esquema representa a proposta de interação entre compositor, interprete e espectador	7
Fig.2 Gráficos representativos da amostra de um segundo das diferentes bandas de frequência	16
Fig.3 Funções associadas aos dois hemisférios do cérebro	18
Fig.4 Tabela comparativa de equipamentos de EEG	19
Fig.5 Emotiv EEG Headset com 14 elétrodos (<i>international 10-20 locations</i>)	20
Fig.6 Imagem da sessão de trabalho no Logic Pro 9	29
Fig.7 <i>patch</i> sonoro em Max/MSP	31
Fig.8 <i>subpatch de som</i> em Max/MSP	32
Fig.9 <i>patch</i> gráfico em jitter	34
Fig. 10 <i>subpatch</i> de recepção em Max	35
Fig.11 <i>patch</i> de recepção em Max	36
Fig.12 <i>patch</i> em modo de apresentação	37
Fig.13 Esquema representativo do fluxo de sinal	39
Fig.14 Esquema representativo da comunicação de dados entre <i>softwares</i> e equipamentos	40
Fig.15 Representação gráfica da amplitude do ficheiro de som original	41
Fig.16 Imagem da <i>wavelet</i> produzida através do ficheiro de som original	42
Fig.17 Fotografias de algumas sessões realizadas para o estudo 1	42
Fig.18 Gráficos de duas sessões realizadas com os participantes 2 e 5	43
Fig.19 Gráficos de duas sessões realizadas com os participantes 1 e 4	44
Fig.20 Gráficos de três sessões realizadas com o participante 3	45
Fig.21 Imagens do <i>patch</i> gráfico provenientes do estudo 2	48

Apêndice A:

	EEG HEADSET
Number of channels	14 (plus CMS/DRL references, P3/P4 locations)
Channel names (International 10-20 locations)	AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4
Sampling method	Sequential sampling. Single ADC
Sampling rate	128 SPS (2048 Hz internal)
Resolution	14 bits 1 LSB = 0.51 μ V (16 bit ADC, 2 bits instrumental noise floor discarded)
Bandwidth	0.2 - 45Hz, digital notch filters at 50Hz and 60Hz
Filtering	Built in digital 5th order Sinc filter
Dynamic range (input referred)	8400 μ V (pp)
Coupling mode	AC coupled
Connectivity	Proprietary wireless, 2.4GHz band
Power	LiPoly
Battery life (typical)	12 hours
Impedance Measurement	Real-time contact quality using patented system

Tabela 1 – Especificações técnicas do EPOC Headset retiradas do manual de utilizador do Emotiv em <http://emotiv.com/developer/SDK/UserManual.pdf>.

Factor	Levels	Emotional expression
Amplitude envelope	Round	Disgust, sadness, fear, boredom, potency (Scherer & Oshinsky, 1977), tenderness, fear, sadness (Juslin, 1997)
	Sharp	Pleasantness, happiness, surprise, activity (Scherer & Oshinsky, 1977), anger (Juslin, 1997)
Articulation	Staccato	Fear, anger (Juslin, 1997)
	Legato	Tenderness, sadness (Juslin, 1997)
Harmony	Simple / consonant	Relaxation, tenderness (Lindström, 1997)
	Complex / dissonant	Anger, Tension (Lindström, 1997), tension, fear (Krumhansl, 1996; Krumhansl, 1997)
Loudness	Loud	Anger (Juslin, 1997)
	Soft	Fear, tenderness, sadness (Juslin, 1997)
Variation in loudness	Large	Fear (Scherer & Oshinsky, 1977)
	Small	Happiness, pleasantness, activity (Scherer & Oshinsky, 1977)
	Rapid changes	Fear (Krumhansl, 1997)
Melodic range	Wide	Fear (Krumhansl, 1997), joy (Balkwill & Thompson, 1999)
	Narrow	Sadness (Balkwill & Thompson, 1999)
Mode	Major	Happiness (Scherer & Oshinsky, 1977; Krumhansl, 1997)
	Minor	Sadness (Krumhansl, 1997), disgust, anger (Scherer & Oshinsky, 1977)
Pitch level	High	Surprise, potency, anger, fear, activity (Scherer & Oshinsky, 1977)
	Low	Boredom, pleasantness, sadness (Scherer & Oshinsky, 1977)
Tempo	Fast	Activity, surprise, happiness, pleasantness, potency, fear, anger (Scherer & Oshinsky, 1977), happiness, anger (Juslin, 1997), happiness (Krumhansl, 1997)
	Slow	Sadness, boredom, disgust (Scherer & Oshinsky, 1977), sadness, tenderness (Juslin, 1997), sadness (Krumhansl, 1997)
Timbre	Few harmonics	Pleasantness, boredom, happiness, sadness (Scherer & Oshinsky, 1977)
	Many harmonics	Potency, anger, disgust, fear, activity, surprise (Scherer & Oshinsky, 1977)
	Soft	Tenderness, sadness (Juslin, 1997)
	Sharp	Anger (Juslin, 1997)

Tabela 2 – Relação entre os parâmetros musicais e as emoções percebidas (tabela adaptada por Sylvain Le Groux de Gabrielsson and Lindström 2001)

Anexo

Anexo 1

DVD dos trabalhos realizados

Lista de Conteúdos:

- **Ficheiros de som**
 - Estudio1_audio.aif
 - lop1.aif
 - lop2.aif
 - lop3.aif
 - lop4.aif
- **Estudo 1**
 - Videos
 - Fotografias
- **Estudo 2**
 - Videos
 - Fotografias
- **Patch de eventos musicais e visuais em Max/MSP**
 - Patch_de_eve_mus_e_vis_em_Max.maxpat