



Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Graduação em Engenharia Biomédica

ANA CLARA PEREIRA RESENDE DA COSTA

**Análise Tempo-Frequência de Sinais Eletroencefalográficos
Normais Antes, Durante e Após Estímulo Musical**

Uberlândia
2018

ANA CLARA PEREIRA RESENDE DA COSTA

**Análise Tempo-Frequência de Sinais Eletroencefalográficos
Normais Antes, Durante e Após Estímulo Musical**

Trabalho apresentado como requisito parcial de avaliação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: João Batista Destro Filho

Assinatura do Orientador

Uberlândia
2018

Dedico este trabalho à minha família,
pelo estímulo, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus e ao meu espírito protetor por todo suporte com que me valeste durante o desenvolvimento deste trabalho e também ao longo dos anos em que cursei Engenharia Biomédica.

Ao Prof. João Batista Destro Filho pelo incentivo, motivação e orientação, essenciais para a realização deste trabalho.

A Camila Davi Ramos pelo auxílio durante todo o desenvolvimento desse trabalho, pois sem ela, não teria sido possível.

Aos meus colegas de Iniciação Científica.

Ao Setor de Neurologia do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (SEN/HCU-UFU), por ter disponibilizado o espaço e o aparelho para as coletas dos dados.

À minha família, pela paciência, compreensão, carinho e estímulo durante todo o curso.

Meu muito obrigada a todos que de alguma forma me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O registro de eletroencefalografia (EEG) de superfície possui características importantes em relação às oscilações de alta frequência, sendo estas induzidas em tarefas cognitivas engajadas em percepção, atenção e memória, que refletem a ativação cortical. No entanto, são poucos os estudos que analisam o comportamento das altas frequências perante estimulação musical. Normalmente, as pesquisas disponíveis, analisam somente Banda Clínica, ou seja, a faixa de frequência de 1 a 30 Hz, sendo excluído desta análise os ritmos Gama e Super Gama. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é analisar, nas altas frequências, a variação da potência do sinal de EEG na presença de estimulação musical, na qual o estímulo apresentado é desconhecido da população. Para possibilitar a análise proposta, foi desenvolvido um quantificador, denominado Percentual de Potência Normalizada (PPN), o qual possui o mesmo princípio da Densidade Espectral de Potência, com a diferença desse valor ser necessariamente normalizado. Além disso, para o trabalho aqui apresentado, a análise foi feita em sinais adquiridos antes da estimulação musical, evento olhos fechados, durante a estimulação, evento música e após o término da estimulação, evento pós música. Para verificar se existem diferenças nos três eventos analisados, realizou-se uma análise estatística dos dados e também se observou a variação de PPN do sinal no tempo a partir dos diagramas tempo-frequência. A partir dos resultados obtidos foi possível constatar que as altas frequências, ritmo Gama e Super Gama, possuem melhor distinção dos diferentes eventos, e que de maneira geral, principalmente para os ritmos mais rápidos, o valor de PPN aumentou durante a estimulação musical. Por fim, notou-se também, que após a retirada do estímulo há um decaimento gradual deste valor e que isso independe da região do córtex cerebral analisada.

Palavras chave: Eletroencefalografia. Estímulo Musical. Percentual de Potência Normalizada. Ritmos Gama e Super Gama.

ABSTRACT

Surface electroencephalography (EEG) recording has important characteristics in relation to high frequency oscillations, which are induced in cognitive tasks engaged in perception, attention and memory which reflect cortical activation. However, there are still few studies that analyze the behavior of high frequencies before a musical stimulation. Usually the available surveys, analyze only the Clinical Band, that is, the frequency range of 1 to 30 Hz, being excluded from this analysis the Gamma and Super-Gamma rhythms. Therefore, the objective of this work is to analyze, at high frequencies, EEG signal power variation in the presence of musical stimulation, in which the presented stimulus is unknown to the population. In order to make possible the proposed analysis, a quantizer was developed, called Normalized Power Percentage (PPN), which has the same principle of Spectral Density of Power, with the difference that this value is necessarily normalized. In addition, for the work presented here, the analysis was done for signals acquired before the musical stimulation, part eyes closed, during the stimulation, part music and after the end of the stimulation, part post music. To verify if there are differences in the three parts analyzed, a statistical analysis of the data was performed and the PPN variation of the signal in time was also observed from the time-frequency diagrams. From the results obtained it was possible to verify that the high frequencies, Gamma and Super-Gamma, have a better distinction of the different parts, and that in general, especially for the fastest rhythms, the value of PPN increased during musical stimulation. Finally, it was also noted that after the withdrawal of the stimulus there is a gradual decay of this value and that this is independent of the region of the cerebral cortex analyzed.

Key words: Electroencephalography. Musical Stimulation. Normalized Power Percentage. Gamma and Super-Gamma Rhythms.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Projeção de um único plano da cabeça, mostrando todas as posições padrão do sistema 10-20. Fonte: Retirada de JASPER, 1958.....	3
Figura 2 - Diagrama da metodologia do trabalho.	17
Figura 3 - Evento da Matriz resultante de PPN do evento OF do eletrodo T4 do V050, onde as linhas representam as frequências e as colunas o tempo.	18
Figura 4 - Segmento da célula com os resultados do cálculo de PPN para o evento OF do V050, sendo que o eixo das abscissas representa os eletrodos.	19
Figura 5 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo T4 do V050.	21
Figura 6 - Colocação dos eletrodos seguido sistema 10-20, onde os eletrodos destacados em vermelho são os analisados no presente trabalho. Fonte: Adaptada de Foz et al., 2017.....	22
Figura 7 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo F3 da mediana dos 42 voluntários	29
Figura 8 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo F4 da mediana dos 42 voluntários	31
Figura 9 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo C3 da mediana dos 42 voluntários.	32
Figura 10 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo C4 da mediana dos 42 voluntários.	33
Figura 11 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo T5 da mediana dos 42 voluntários.	35
Figura 12 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo T6 da mediana dos 42 voluntários.	36
Figura 13 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo P3 da mediana dos 42 voluntários.	38
Figura 14 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo P4 da mediana dos 42 voluntários.	39

Figura 15 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo O1 da mediana dos 42 voluntários.

.....41

Figura 16 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo O2 da mediana dos 42 voluntários.

.....42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa de frequências que cada ritmo agrupou.	15
Tabela 2 - Resultados do PPN da análise estatística do eletrodo T4 para o V050. ...	19
Tabela 3 - Resultados da análise estatística da Banda Delta das matrizes Tempo x Frequência Mediana dos eletrodos analisados.....	23
Tabela 4 - Resultados da análise estatística da Banda Teta das matrizes Tempo x Frequência Mediana dos eletrodos analisados.....	24
Tabela 5 - Resultados da análise estatística da Banda Alfa das matrizes Tempo x Frequência Mediana dos eletrodos analisados.....	25
Tabela 6 - Resultados da análise estatística da Banda Beta das matrizes Tempo x Frequência Mediana dos eletrodos analisados.....	26
Tabela 7 - Resultados da análise estatística da Banda Gama das matrizes Tempo x Frequência Mediana dos eletrodos analisados.....	27
Tabela 8 - Resultados da análise estatística da Banda Super Gama das matrizes Tempo x Frequência Mediana dos eletrodos analisados.....	28
Tabela 9 - Faixas de frequências que obtiveram maior DP quando analisado a matriz de mediana de forma contínua por região cerebral.	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μ	Média
DP	Desvio Padrão
EEG	Eletroencefalografia
HCU	Hospital das Clínica de Uberlândia
IFSECN	Comitê Internacional de Sociedades de Eletroencefalografia e Neurofisiologia Clínica
MU	Música
OF	Olhos Fechados
PM	Pós-Música
PPN	Percentual de Potência Normalizada
PSD	<i>Power Spectral Density</i>
SEN	Setor de Neurologia
SNC	Sistema Nervoso Central
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
V050	Voluntário 050

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. A ELETROENCEFALOGRAFIA	1
1.2. A ESTIMULAÇÃO MUSICAL E MUSICOTERAPIA.....	4
2. DESENVOLVIMENTO	7
2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.2. METODOLOGIA	10
2.2.1. COLETA DE DADOS.....	10
2.2.2. Processamento dos dados	11
A) Pré-processamento.....	11
B) Organização dos Dados.....	12
C) Quantificador.....	12
2.2.3. Análise Estatística	15
2.2.4. Visualização de Resultados.....	16
2.2.5. Exemplo da Análise Realizada Para Um Voluntário	18
2.3. RESULTADOS	22
2.4. DISCUSSÃO.....	44
3. CONCLUSÕES	49
3.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	52
4. REFERÊNCIAS.....	53
ANEXO A	57
PARECER CONSUBSTANCIADO LIBERADO PELO CEP - UFU.....	57

1. INTRODUÇÃO

1.1. A Eletroencefalografia

Em 1875, Richard Caton descobriu que o cérebro está associado com a geração de atividade elétrica, pois este demonstrou sinais elétricos advindos do córtex cerebral de cães e coelhos na faixa de microvolts (SÖRNMO; LAGUNA, 2005). Somente em 1924, Hans Berger foi capaz de registrar a atividade elétrica no couro cabeludo humano, em 1929 este publicou um trabalho relatando que o cérebro possuía oscilações em torno de 10 ciclos por segundo enquanto a pessoa está relaxada e com olhos fechados, estas oscilações foram chamadas por Berger de ondas Alfa. O mesmo também percebeu que com olhos abertos as oscilações cerebrais possuíam uma frequência mais elevada e as chamou de ondas Beta, sendo assim, Berger também foi o responsável por iniciar a classificação dos diferentes tipos de oscilações, que atualmente são classificadas da seguinte forma: Delta (0,5-3,5 Hz), Teta (3,5-7,5 Hz), Alfa (7,5-12,5 Hz), Beta (12,5-30 Hz), Gama (30-80 Hz), e Super Gama (80-120 Hz) (BUZSÁKI, 2006; FREEMAN; QUIROGA, 2013).

Em suas pesquisas, Berger foi capaz de observar que as ondas cerebrais variam no tempo e se diferenciam conforme a localização do eletrodo no couro cabeludo, além disso as mesmas também se alteram de um recém-nascido para um adulto e de um indivíduo saudável para outro com patologias neurológicas. Ou seja, Berger foi o responsável por registrar a primeira eletroencefalografia (EEG) em uma pessoa e notar que dependendo do estado mental do indivíduo, atenção ou relaxamento, as oscilações cerebrais são diferentes (SCHOMER; SILVA, 2011; SÖRNMO; LAGUNA, 2005).

Atualmente a EEG é um exame com custo relativamente baixo, que mede atividade elétrica cerebral em diferentes regiões do escalpo, sua forma não invasiva utiliza eletrodos, com elevada resolução temporal, colocados sobre o couro cabeludo (FREEMAN; QUIROGA, 2013). O posicionamento dos eletrodos normalmente segue o sistema internacional 10-20, os sinais registrados pela EEG possuem amplitude em torno de 100 μ V e seu conteúdo de frequência normalmente varia de 0,5 a 30-40 Hz, desprezando assim grande evento das

oscilações Gama e Super Gama (SÖRNMO; LAGUNA, 2005). A EEG normalmente é registrada a uma frequência de amostragem igual, ou superior, a 100 Hz, sendo que os sistemas modernos de aquisição possuem uma taxa de amostragem mais elevada, possibilitando assim o estudo de oscilações de alta frequência. Porém, apesar dos avanços tecnológicos viabilizar a análise destas frequências, muitas vezes as mesmas são negligenciadas e consideradas ruído (FREEMAN; QUIROGA, 2013; ZHANG et al., 2010).

A EEG de superfície possui características importantes em relação às oscilações de alta frequência, que também ocorrem em exames invasivos. Foi comprovado que o EEG gravado sobre o couro cabeludo humano capta altas frequências, proporcionando assim uma forma não invasiva de obter a atividade elétrica cortical, ou seja, as altas frequências captados no EEG de superfície não podem ser consideradas apenas ruído (TELENCZUK et al., 2011).

Além do mais, acredita-se que muitas manifestações fisiológicas e patológicas estejam ligadas a oscilações de alta frequência. Os ritmos Gama e Super Gama são induzidos em tarefas cognitivas engajadas em percepção, atenção e memória, sendo sugerido que estes refletem diferentes atividades neurais e desempenham diferentes papéis durante a consolidação da memória, podendo ser utilizadas como biomarcadores eletrofisiológicos visando mapear e modular processos neurofisiológicos distintos no cérebro normal e epileptogênico (ENGEL; SILVA, 2012; KUCEWICZ et al., 2017).

Enquanto as oscilações baixa frequência são associadas às funções inibidoras, as oscilações alta frequência refletem a ativação cortical, dependendo da região estas são relacionadas com o processamento de informação, percepção de consciência e manutenção da memória. A maioria dos processos cognitivos têm sido associados a pelo menos uma faixa de oscilação, porém como existem vários destes processos, não se pode afirmar que uma determinada faixa pode ser relacionada especificamente com um determinado processo cognitivo. Porém é provável que as oscilações da EEG contribuam para diferentes funções cognitivas, dependendo de sua localização topográfica e dos parâmetros como amplitude, frequência, fase, coerência (HERRMANN et al., 2016).

Vale ressaltar que o sistema internacional 10-20 foi definido pelo Comitê Internacional de Sociedades de Eletroencefalografia e Neurofisiologia Clínica (IFSECN), e para o desenvolvimento deste seguiu certos princípios como: as posições dos eletrodos deveriam ser determinadas pela medição dos pontos de referência padrão no crânio, as medidas devem ser proporcionais ao tamanho e forma do crânio, o sistema deveria ter uma cobertura adequada de todas as eventos da cabeça, as designações de posições devem ser em termos de áreas do cérebro e não apenas em números. Neste sistema a distribuição dos eletrodos é feita a partir de 10% ou 20% de uma distância estabelecida para a colocação dos eletrodos. E cada letra representa uma região cerebral sendo Polo Frontal (Fp), Frontal (F), Central (C), Parietal (P), Temporal (T) e Occipital (O), além dos eletrodos de coleta de sinal tem-se os eletrodos auriculares (A) utilizados como referência. Além disso os números pares indicam o hemisfério direito e os ímpares o esquerdo. A Figura 1 representa a colocação dos eletrodos no sistema 10-20 (EBERSOLE; PENDLEY, 2003; JASPER, 1958).

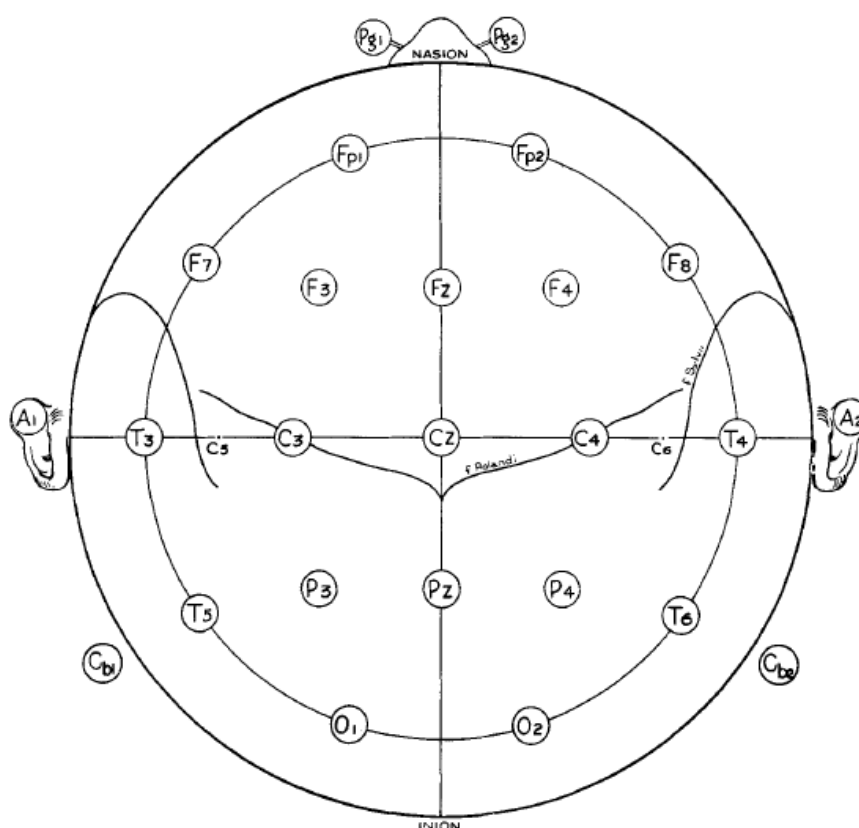


Figura 1 - Projeção de um único plano da cabeça, mostrando todas as posições padrão do sistema 10-20. Fonte: Retirada de JASPER, 1958.

1.2. A Estimulação Musical e Musicoterapia

A estimulação musical é processada no córtex auditivo, o qual é localizado na evento pósterio superior do lobo temporal, no interior do sulco lateral, e possui grande importância na discriminação de padrões sonoros tonais e sequenciais (GUYTON; HALL, 2006; CLARK; DOWNEY; WARREN, 2014). Nesta região estão distribuídas estruturas límbicas, estriatais e mesencéfalo filogenéticas cujo sistema dopaminérgico mesolímbico estriado codifica a recompensa musical. Modulando, assim, a conectividade do núcleo *accumbens*, via de recompensa e prazer, com a área cortical auditiva e outras regiões do cérebro envolvidas na análise perceptual e na avaliação do estímulo musical (CALABRÒ et al., 2015; CLARK; DOWNEY; WARREN, 2014).

Esse processamento musical envolve mecanismos cerebrais e demanda de algumas etapas, sendo elas: a percepção musical, a qual envolve a decodificação musical e é realizada pelo córtex auditivo primário no giro de Heschl e no córtex de associativo no giro temporal superior, o reconhecimento musical e a emoção, onde na realização destas etapas estão envolvidos o orbito-frontal e os sistemas límbicos. Além do mais, o córtex auditivo primário aparenta ser sensível a percepção do tom, enquanto o córtex associativo auditivo realiza tarefas de processamento musical mais complexas relacionadas a estímulos lineares e não lineares (MAGUIRE, 2012).

Além do mais os sinais captados do cérebro no sistema nervoso central (SNC) fornecem características informativas em resposta aos estados emocionais (LIN et al., 2010), uma vez que ao ouvir sequências rítmicas os gânglios da base e da área motora suplementar são ativados (BAUER; KREUTZ; HERRMANN, 2015). Acredita-se que os gânglios da base, o cerebelo e os lobos temporais superiores são ativados na percepção de ritmos, sem conteúdo melódico específico, indicando um aspecto motor na percepção do ritmo (MAGUIRE, 2012).

Pesquisas envolvendo estimulação musical mostraram que a música estimula processos cognitivos, afetivos e sensório-motores fisiologicamente complexos. Além disso, a música é uma linguagem auditiva altamente estruturada envolvendo percepção complexa, cognição e controle motor no

cérebro e que essa linguagem sensorial pode ser efetivamente usada para treinar e reeducar o cérebro lesado (THAUT; VOLKER, 2014).

Além do mais, pesquisas relataram que a musicoterapia possui benefícios físicos, cognitivos e psicológicos. Um estudo realizado com voluntários com Alzheimer submetidos a musicoterapia por 6 semanas, mostrou melhoras em algumas alterações cognitivas, psicológicas e comportamentais, sendo o efeito nas medidas cognitivas apreciável após apenas 4 sessões de musicoterapia (GÓMEZ GALLEGO; GÓMEZ GARCÍA, 2017). Um outro estudo avaliou, com base em dados de Eletroencefalografia (EEG), a resposta emocional de pacientes com câncer em estado terminal frente a uma intervenção de musicoterapia, obtendo resultados que podiam ser interpretados como um efeito emocional positivo da musicoterapia em pacientes com câncer avançado com diminuição significativa no cansaço, ansiedade e dificuldades respiratórias, bem como um aumento nos níveis de bem-estar (RAMIREZ et al., 2018).

Além disso foram mostrados os efeitos benéficos da música na apreensão e descargas epileptiformes, discutindo os possíveis mecanismos responsáveis pelos efeitos benéficos da estimulação musical, os quais incluem vias dopaminérgicas, neurônios espelho e ativação parassimpática após estimulação sonora, o mecanismo real ainda não está claro. Mostra-se que existem evidências de que ouvir a música de Mozart, a curto e a longo prazo, pode contribuir para a diminuição da descarga epileptiforme e da frequência de crises em crianças com epilepsia, mesmo no tipo refratário. O que faz necessário mais estudos para esclarecer os efeitos da música nas regiões do cérebro, o que tornaria a estimulação musical mais aplicável em contextos clínicos (LIN; YANG, 2015).

Sendo assim, o objetivo principal do presente trabalho é analisar registros de EEG de alta frequência de voluntários neurologicamente saudáveis sob estímulo de uma música desconhecida, para verificar se, a partir do EEG quantitativo, é possível perceber alterações no espectro desse sinal por meio de tal estimulação e distinguir o sinal antes, durante e após uma estimulação musical. Dessa forma os objetivos específicos deste trabalho são:

- desenvolvimento de um quantificador de potência de EEG;

- desenvolvimento de diagramas tempo-frequência, a partir de mapas de calor;
- aprimoramento dos conhecimentos em programação.

2. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento desse trabalho leva em consideração os tópicos distribuídos nas seções 2.1. a 2.4. Na Seção 2.1. se encontra a Revisão bibliográfica do presente trabalho. Na seção 2.2. a Metodologia desenvolvida e aplicada. Na seção 2.3. são apresentados os Resultados obtidos. Finalmente, na seção 2.4. realiza-se a Discussão dos resultados obtidos.

2.1. Revisão bibliográfica

Existem diversos estudos sobre gravações de EEG durante estimulação musical e um dos principais temas abordados nesses estudos são as emoções sentidas durante a estimulação sonora (GOMES; PEREIRA; CONDE, 2017). Via de regra, busca-se relacionar as emoções sentidas pelos participantes ao registro da atividade elétrica cerebral simultaneamente a estímulos de diferentes músicas, que objetivam trazer emoções tais como: diversão, medo, raiva e tristeza. Em Banerjee et al. (2016) é analisado o efeito da música hindustani a partir de duas músicas, “ragas” escolhidas para análise, sendo uma a "Chayanat", considerada uma música romântica alegre, e a outra é "Darbari Kannada", uma música triste. Neste estudo, utiliza-se a EEG para estudar a retenção das emoções após o fim da música.

Já Khosrowabadi e Rahman (2010) utilizou estímulos visuais e sonoros relacionados com quatro estados emocionais, sendo estes: positivo, negativo, calmo e excitado; e apresentou a classificação de correlações da EEG para estas emoções usando características extraídas por misturas gaussianas de espectrograma das EEGs. Segundo o estudo realizado por Balasubramanian et al. (2018) a correlação entre os hemisférios expressa informações relevantes à conclusão das consequências causadas pela estimulação sonora, ou seja, foram calculadas as médias das energias dos componentes alfa, beta e teta relativas as respectivas localizações dos eletrodos posicionados no hemisfério direito e esquerdo. Ainda neste estudo, foram expostas que as energias relativas da banda alfa quando comparadas entre os hemisférios revela a emoção gerada pela estimulação induzindo um sentimento positivo ou negativo.

Com relação a quantificadores estatísticos após o processamento dos sinais de EEG, no estudo de Bhatti et al. (2016) é expresso que as emoções feliz

e triste são mais claras na percepção e análise dos resultados do que as emoções de amor e raiva (confortável e desconfortável) diante da estimulação musical, mesmo quando há ligação e comparação entre as respostas dos voluntários sobre os estímulos e os seus respectivos EEGs durante a música.

Além disso, existem estudos que objetivam permitir que pesquisadores estudem os desafios dos sistemas de recuperação de informações de imagens musicais como é o caso da pesquisa desenvolvida por Stober et al. (2015), o qual disponibiliza um conjunto de dados em domínio público de gravações de EEG realizadas durante a percepção musical e imaginação, onde cada participante foram submetidos há 12 diferentes estimulações musicais.

Alguns objetivam observar se existem diferenças nas respostas corticais entre músicos e não músicos como é o caso da pesquisa de Maslennikova, Varlamov e Strelets (2015), o qual aborda as mudanças na potência espectral do EEG e potenciais evocados na apresentação de acordes consonantais e dissonantes dependendo da experiência musical dos voluntários, e do Zhang et al. (2015), o qual testa a hipótese de que o treinamento musical de longo prazo melhora o processamento da informação auditiva e modula as funções cognitivas superiores.

Já outras pesquisas analisam se existem diferença da resposta cortical a música para diferentes idades e para indivíduos com deficiência cognitiva, por exemplo, Verrusio et al. (2015) estudou a influência da música de Mozart sobre a atividade cerebral através da análise espectral do EEG em jovens adultos saudáveis, idosos saudáveis e idosos com comprometimento cognitivo leve, para isso ele utilizou duas sonatas, Mozart K448 e “Fur Elise” de Beethoven.

E ainda, alguns estudos combinam mais de uma ferramenta para estudar a influência da música no cérebro, Nakamura et al. (1999) utilizou o fluxo sanguíneo cerebral regional com a tomografia por emissão de positrões e registrou simultaneamente EEGs em voluntários normais visando elucidar os substratos neurais do aspecto receptivo da música tradicional de Gamelão da Indonésia, para isso fizeram coletas com os voluntários em repouso e com os voluntários sob estimulação musical. Já Kay et al. (2012) utilizou ressonância magnética funcional combinada com EEG, para estudar a influência de uma música no

SNC, para isto um grupo foi estimulado com uma música reconfortante e outro grupo não recebeu estímulo.

Ainda dentro deste tema, outra linha de pesquisa existente é se a familiaridade com a música influencia na ativação cortical. Kumagai, Arvaneh e Tanaka (2017) investiga essa linha com o foco no entretenimento cortical, para testar a hipótese do entretenimento a música ser influenciado pela familiaridade, o que consiste em um dos fatores de alto nível da percepção musical, ele utilizou a função de correlação cruzada entre o envelope da música tocada e a EEG gravada durante a audição de três tipos de estimulação, sendo uma familiar, uma desconhecida e uma embaralhada. Os seus resultados sugerem que as respostas corticais à música não-sensorial ou desconhecida são mais fortes que as respostas corticais à música familiar.

Destes estudos realizados, um fato interessante é que o cérebro possui preferência musical a estímulos que está mais propenso a ouvir diariamente, por exemplo, Bajoulvand et al. (2017) mostrou que diferentes grupos étnicos quando sujeitos a todos os tipos de músicas folclóricas, relatam menor preferência por aquelas que não fazem evento da sua realidade de estímulo musical diário. Tão logo, os resultados apuram que a tendência das pessoas de cada grupo étnico para a sua etnia é significativamente refletida nos seus sinais de EEG que podem ser detectados automaticamente.

Neste contexto, um meio eficaz de se estudar a resposta cerebral a um estímulo é por meio da utilização de espectrogramas. Wang et al. (2016) utilizou mínimos quadrados parciais multilineares em um tensor de terceira ordem, espectrograma, com fatores de tempo, frequência e espaço de EEG contínuo provocado por música naturalista e contínua, e uma matriz de características musicais para estudar a relação da atividade cerebral e características musicais no domínio do tempo, este encontrou padrões na atividade cerebral associados à música. Seus voluntários foram estimulados pela escuta livre de um Tango moderno.

E por fim, destaca-se o estudo de Schaefer, Desain e Farquhar (2013), que analisou como os efeito de notas, melodia, ritmo e música natural afetam o processamento e a imagem que o cérebro produz ao interpretar os estímulos auditivos, chegando à conclusão que os estímulos mais complexos (música

natural com notas, letras, ritmos) apresentara o processamento central mais significativo.

2.2. Metodologia

Nessa seção apresenta-se a metodologia utilizada neste trabalho para a aquisição, o processamento do sinal e a análise estatística dos dados. Ademais, mostra-se também como foram implementados os diagramas tempo-frequência. Faz-se interessante elucidar que todo o processamento do sinal e geração das imagens dos diagramas tempo-frequência foram realizadas no *software* Matlab®.

2.2.1. Coleta de dados

As coletas das EEGs foram realizadas no Setor de Neurologia do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (SEN/HCU-UFU), sendo utilizado o amplificador de sinais, *BrainNet BNT-EEG*, presente neste setor. Além deste equipamento, utilizou-se também o *software* “EEGCaptacoes32”. Este equipamento possui 21 canais, sendo 20 dedicados à aquisição digital de sinais de EEG e um para registrar sinal de ECG. Tais coletas fazem evento da base de EEG normal desenvolvida em Ramos (RAMOS, 2017), cuja autorização do Comitê de Ética em Pesquisas da UFU (CEP - UFU) foi liberada a partir do protocolo de número 1.715.960, apresentado no Anexo A.

As coletas seguiram o sistema internacional 10-20 de colocação, sendo que para as coletas foram utilizados 23 eletrodos, dos quais 20 foram para a captação do sinal de EEG, dois eletrodos para referência, conectados nas orelhas (bi-auricular), e um eletrodo utilizado como terra. A frequência de amostragem utilizada foi de 240 Hz, com um filtro passa-banda de 1-100 Hz e um filtro *notch* em 60 Hz.

A base de dados utilizada é composta por coletas de 100 voluntários (52 do sexo masculino, idade média de $24,54 \pm 7,62$ anos), em que os critérios de inclusão foram indivíduos neurologicamente saudáveis, sem patologias prévias e que não faziam uso de medicação neurológica. Todos os voluntários foram submetidos a um protocolo de preparação para coleta, no qual os participantes deveriam respeitar as seguintes regras: não lavar o cabelo no dia; não lavar o

cabelo com condicionador no dia anterior; não ingerir bebida alcoólica nas 48 horas anteriores; não ingerir substâncias estimulantes, como café, no dia; ter dormido bem na noite anterior.

Dos 100 voluntários presentes na base de EEG, apenas 42 voluntários (22 do sexo feminino, idade média de $24,52 \pm 6,79$ anos) foram considerados aptos para análise realizada neste trabalho, desenvolvido com base nas etapas denominadas: Gravação em Repouso, Gravação de Estímulo Musical, por meio do hino nacional do Japão, e Gravação Pós Estimulo Musical. Uma vez que o objetivo do presente trabalho consiste no estudo do efeito de uma estimulação musical na atividade elétrica do córtex cerebral. Os voluntários da base de EEG que não possuíam pelo menos um minuto de gravação de cada uma das três etapas, foram excluídos da análise.

Em todas essas etapas o voluntário permaneceu em repouso, deitado sobre a maca de registro e com os olhos fechados. Durante a primeira etapa, a qual é a Gravação em Repouso, o voluntário permanecia com os olhos fechados e sem estimulação sonora; Na Gravação de Estímulo Musical o voluntário era estimulado com o hino como música ambiente e, por último, na Gravação Pós Estimulo Musical, a qual ocorreu sequencialmente a segunda etapa, o voluntário permanecia nas mesmas condições da primeira etapa. Sendo que o requisito da escolha de voluntários aptos para compor a análise, desenvolvida no escopo deste trabalho, foi baseado no tempo de duração de cada etapa, não sendo utilizado EEG com duração inferior a um minuto, ou seja, dada a taxa de amostragem utilizada, com menos de 14400 amostras de sinal por etapa.

2.2.2. Processamento dos dados

Neste tópico será detalhado como foi realizado o processamento dos dados, desde o pré-processamento (A), a organização dos dados (B) e quantificador utilizado (C).

A) Pré-processamento

Os registros presentes na base de RAMOS (2017) passaram por avaliação realizada por um médico neurologista do SEN/HCU, o qual avaliou o

traçado de cada registro EEG sob aspectos clínicos, escolhendo os registros sem a presença de artefatos visíveis ao longo do sinal de EEG.

B) Organização dos Dados

Os dados de entrada para o processamento são arquivos em formato “*.mat*” que contém: O sinal coletado, frequência de amostragem, o tempo de registro e o vetor de informação dos tempos referentes a cada amostra. Para cada situação, foram escolhidos 60 segundos sequenciais de sinal, sendo que cada segundo disponibiliza um total de 240 amostras. Logo, para cada voluntário o sinal foi segmentado em três eventos, cada qual com 60 segundos, sendo a primeiro evento denominada Olhos Fechados (OF), o segundo evento denominado Música (MU) e o terceiro evento de Pós-Música (PM).

Para cada evento foram consideradas 60 janelas com duração de um segundo, cada qual compreendendo uma matriz de 20 linhas (canais) e 240 colunas (amostras). Dessa forma, pode-se notar que este procedimento envolve um grande um volume de informações sendo, portanto, necessária a realização de uma análise estatística descritiva.

C) Quantificador

Para cada janela de dados com duração de um segundo (descrita na seção anterior) a análise foi feita utilizando um quantificador denominado Percentual de Potência Normalizada (PPN). O PPN é um modelo matemático que calcula a potência normalizada do sinal nas diferentes frequências, sendo assim pode-se dizer que, de certa forma, este é a Densidade Espectral de Potência (*Power Spectral Density-PSD*) normalizada, desenvolvido para atender as necessidades deste trabalho.

A PSD de um processo estacionário aleatório é a transformada de Fourier da função de autocorrelação (SÖRNMO; LAGUNA, 2005), sendo esta última de extrema importância em sinais aleatórios, uma vez que as frequências de tais sinais dependem da velocidade de mudança da amplitude em relação ao tempo. Esta característica pode ser mensurada pela correlação de amplitudes no tempo t_1 e no tempo $t_1 + \tau$. Ou seja, a correlação é uma medida de similitude entre duas variáveis aleatórias. Quando esta medida é feita com relação ao próprio

signal, a mesma é chamada de autocorrelação e esta ferramenta mede a similitude do sinal $g(t)$ com sua versão deslocada no tempo. Matematicamente a função de autocorrelação pode ser definida tanto através da Eq. 1, quanto pela Eq. 2 (RAMOS, 2017).

$$R_x(t_1, t_2) = \overline{x(t_1)x(t_2)} = \overline{x_1x_2} \quad (1)$$

$$R_{xij}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} g_{xij}(t)g_{xij}(t + \tau)dt \quad (2)$$

Onde:

x – Canal analisado (podendo variar de FP1 a O2).

i – Evento (OF, MU ou PM).

j – Trecho escolhido (podendo ser de 1 a 60).

T – Período definido no intervalo de integração [s].

τ – Valor de deslocamento do sinal no tempo [s].

$g(t)$ – Sinal analisado

$g(t + \tau)$ – Sinal deslocado no tempo.

Como o EEG é um sinal não linear e aleatório, para determinar a PSD do mesmo é necessário aplicar a transformada discreta de Fourier na resultante do cálculo da função de autocorrelação. Sendo que a transformada discreta de Fourier é dada pela Eq. 3 (FREEMAN; QUIROGA, 2013).

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi kn/N} \quad k = 0, \dots, N - 1 \quad (3)$$

Onde:

$x(n)$ – Sinal discreto.

N – Número de amostras do sinal.

n – Tempo discreto.

Sendo assim, conclui-se que a PSD do sinal é obtida por meio da Eq. 4.

$$S_{xij}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xij}(\tau)e^{-i2\pi f\tau}d\tau \quad (4)$$

Onde:

x – Canal analisado (podendo variar de FP1 a O2).

i – Evento (OF, MU ou PM).

j – Trecho escolhido (podendo ser de 1 a 60).

R_x – Função de autocorrelação.

f – Vetor de frequências que varia entre 1 e 100 Hz.

Uma vez definida a densidade espectral de potência é então encontrado o quantificador denominado PPN por meio da Eq. 5.

$$PPN_{xi}(z, j) = \left\{ \frac{S_{xi}(z, j)}{Máx(S_{xi})} \right\} 100\% \quad (5)$$

Onde:

x – Canal analisado (podendo variar de FP1 a O2);

i – Evento (OF, MU ou PM);

j – Trecho escolhido (podendo ser de 1 a 60);

z – Posição referente ao vetor de frequência, que varia de 1 a 100

Hz;

$S_{xi}(z, j)$ – Densidade espectral de potência na posição z .

S_{xi} – Matriz de Densidade espectral de potência, em que as linhas representam os valores de frequências (índice z) e as colunas são referentes aos trechos (índice j).

Sendo assim, por meio do cálculo do PPN, foi possível que cada janela com duração de um segundo (mencionadas no item B desta seção) pudesse ter representação no domínio da frequência. Ao todo 83 valores de frequências, no intervalo de 1 a 100 Hz, variando de 1,2 Hz foram considerados. Tais valores de frequência, em Hz, foram: 1,2; 2,4; 3,6; 4,8; 6,0; 7,2; 8,4; 9,6; 10,8; 12,0; 13,2; 14,4; 15,6; 16,8; 18,0; 19,2; 20,4; 21,6; 22,8; 24,0; 25,0; 26,4; 27,6; 28,8; 30,0; 31,2; 32,4; 33,6; 34,8; 36,0; 37,2; 38,4; 39,6; 40,8; 42,0; 43,2; 44,4; 45,6; 46,8; 48,0; 49,2; 50,4; 51,6; 52,8; 54,0; 55,2; 56,4; 57,6; 58,8; 60,0; 61,2; 62,4; 63,6; 64,8; 66,0; 67,2; 68,4; 69,6; 70,8; 72,0; 73,2; 74,4; 75,6; 76,8; 78,0; 79,2; 80,4; 81,6; 82,8; 84,0; 85,2; 86,4; 87,6; 88,8; 90,0; 91,2; 92,4; 93,6; 94,8; 96,0; 97,2; 98,4; 99,6.

Destaca-se ainda, que essa consideração foi feita para cada um dos 20 eletrodos analisados de forma isolada. O que resulta na construção de 20 matrizes, para cada evento analisada (OF, MU ou PM), com 83 linhas (frequências) e 60 colunas (tempo).

2.2.3. Análise Estatística

Ao final do processamento, levando em consideração que o PPN foi realizado no EEG de 42 voluntários, cada um com 20 eletrodos coletados, dos quais foram selecionados 60 segundos de sinais para cada um dos três eventos (OF, MU e PM) analisadas, tem-se um elevado volume de resultados. Portanto um resumo estatístico torna-se essencial na análise dos dados. Para que isto fosse possível calculou-se a mediana dos resultados dos 42 voluntários, já processados para cada um dos três eventos considerando eletrodo por eletrodo. Ao final desse cálculo (mediana dos valores de PPN para os 42 voluntários) foram gerados três arquivos, um para cada evento, cada qual com 20 pacotes de informações, sendo que cada pacote é referente à análise de um eletrodo. Esses pacotes nada mais são que matrizes com 83 linhas (frequência) e 60 colunas (tempo cronológico).

A matriz de mediana, relativa aos eletrodos e os possíveis eventos (OF, MU e PM), foi submetida posteriormente ao cálculo descritivo a partir da média (μ) e do desvio padrão (DP) levando em consideração que o vetor de 83 frequências foi subdividido em seis eventos, cada uma relacionada a um ritmo cerebral. Na Tabela 1 está demonstrado a faixa de valores de frequência que cada ritmo agrupou, ressalta-se que para a análise do ritmo Gama foi retirado os valores em torno a frequência de 60 Hz, devido ao ruído da rede, excluindo desta faixa as frequências de 58,8 a 61,2 Hz.

Tabela 1 - Faixa de frequências que cada ritmo agrupou.

Faixa de Frequências por Ritmo					
Delta	Teta	Alfa	Beta	Gama	Super Gama
1 - 3,5 Hz	3,6 - 7,5 Hz	7,6 - 12 Hz	12,1 - 30 Hz	30,1 - 80 Hz	80,1 - 100 Hz

Considerando que o número total de eletrodos é elevado ($N=20$), faz-se necessário escolher pelo menos dez eletrodos representativos. Para definir esses eletrodos os critérios de escolha foram:

- apresentar maior diferença entre os eventos (OF, MU e PM), a partir da análise de p-valores;

- cada par de eletrodo deve pertencer à uma das cinco regiões do escalpo;
- foram escolhidos pares simétricos;

Assim, definiu-se que o teste de hipóteses de *Wilcoxon rank-sum*, por se tratar de um teste não paramétrico de amostras independentes de tamanhos, seria utilizado com nível de significância (α) de 95%. Este foi usado na comparação entre os estados OF x MU, OF x PM e MU x PM, para os seis ritmos de cada um dos 20 eletrodos.

Além disso, para cada eletrodo, os três eventos foram agrupados de maneira cronológica, seguindo a ordem OF – MU – PM, formando por sua vez uma matriz com 83 linhas (frequências) e 180 colunas (segundos). Em seguida calculou-se os valores de DP para os 180 segundos analisados. Ao final, por eletrodo, foram encontrados 83 valores de DP, sendo um para cada valor de frequência. Esse cálculo teve como objetivo identificar quais os valores de frequências apresentaram maiores variações ao longo do tempo, considerando todos os trechos analisados.

2.2.4. Visualização de Resultados

Embora os cálculos de PPN tenham sido realizados para os 20 eletrodos do sistema 10-20, em os eventos apresentados, apenas 10 eletrodos foram previamente escolhidos para serem avaliados e seus resultados apresentados em forma de tabelas e mapas de calor. Tal fato foi explanado com detalhes na seção 2.2.3.

A primeira forma escolhida, de demonstrar os resultados, foi a elaboração de tabelas compostas pelas seguintes características: Valores de $\mu \pm DP$ para cada um dos três eventos, levando em consideração os dez eletrodos escolhidos, conforme critérios previamente apresentados; Resultados do teste de comparação entre as situações, demonstrados pelo p-valor. Sendo assim, seis tabelas foram geradas, cada qual referindo-se à um ritmo específico.

A segunda forma de demonstrar os resultados foi feita por meio do diagrama tempo-frequência. Para isso, a matriz referente ao eletrodo escolhido foi subdividida em três eventos, sendo a primeira com frequências de 1 a 30 Hz, que fazem evento da banda de análise clínica (Delta, Teta, Alfa e Beta), a

segunda é a banda Gama (30 a 80 Hz) e a terceira, e última, é a banda Super Gama (80 a 100 Hz). Sendo que para apresentação gráfica de tais resultados também foi excluída a faixa de frequências de 58,8 a 61,2 Hz, eliminando possíveis contribuições do artefato de rede de 60 Hz.

Assim, foram geradas três diferentes imagens por eletrodo, cada uma associada à uma faixa de frequência, e ao lado de cada imagem foram colocadas algumas informações, sendo elas: maiores valores de DP, referente aos três maiores valores de DPs encontrados e suas respectivas informações de frequências; Valor Máximo, correspondendo ao maior valor de PPN encontrado para matriz analisada; e Valor Mínimo, que é o oposto do valor máximo.

Ao final foram geradas 10 figuras, cada uma com três imagens, referentes aos 10 eletrodos escolhidos. Para explicar como foi realizada a metodologia e processamento do sinal foi montado um diagrama com o resumo metodológico. A Figura 2 apresenta o resumo da metodologia desenvolvida no presente trabalho.

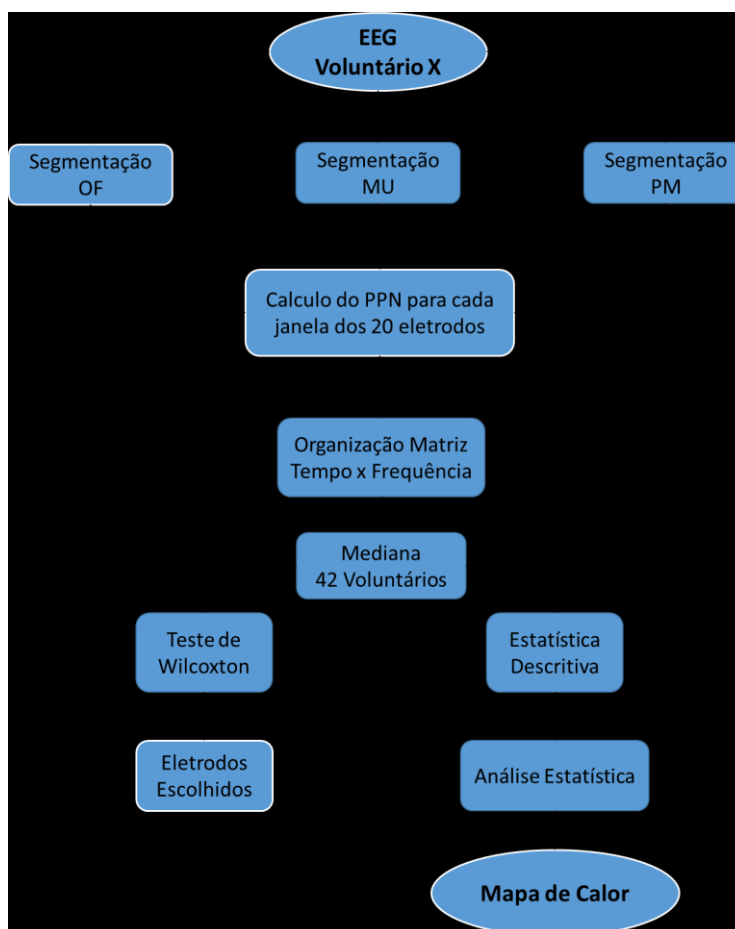


Figura 2 - Diagrama da metodologia do trabalho.

2.2.5. Exemplo da Análise Realizada Para Um Voluntário

O voluntário escolhido para realizar todo o processo descrito anteriormente, a título ilustrativo, foi o voluntário 050 (V050), este é do sexo masculino e possui 47 anos de idade. Primeiramente foi realizada a segmentação do sinal nos três eventos, OF, MU e PM para os 20 eletrodos em questão. Depois foi calculado o PPN de cada evento, obtendo-se assim o valor deste quantificador para cada frequência e segundo analisado para os 20 eletrodos. Consequente foi realizado o Teste de *Wilcoxon* e a partir da análise dos p-valores concluiu-se que o eletrodo que possui maior diferença estatística nas comparações entre os eventos analisados para V50 é o eletrodo T4, associado à região temporal.

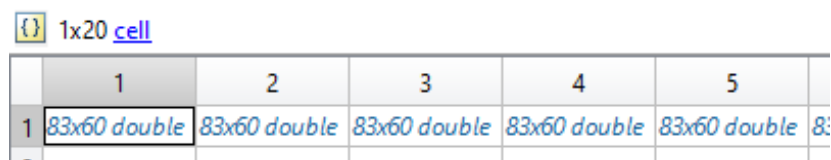
A Figura 3 representa uma parte da matriz de PPN da evento OF do eletrodo T4 do V050, sendo o tempo representado no eixo das abscissas, ou seja, cada coluna representa um segundo, e as frequências representadas no eixo das ordenadas, sendo então cada linha representa uma frequência das 83 frequências analisadas, logo ao total são 60 colunas e 83 linhas.

Cell_TempFreqOF{1, 12}										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.3595	0.8124	0.9476	0.7695	1.1534	0.9182	0.7855	1.0178	0.9061	1.2080
2	0.7827	0.8780	0.7873	0.6648	1.0516	0.6309	0.9233	0.9097	0.9613	1.4379
3	0.7344	0.8704	0.8650	0.5300	0.9249	0.6914	0.8931	0.8825	0.9276	0.5882
4	0.6161	0.6686	0.9824	0.8145	1.1693	0.4765	0.8832	1.0025	0.9173	0.8623
5	0.8076	0.2121	0.8643	0.6919	0.8462	0.8512	0.8353	0.8559	0.8936	1.1824
6	0.7843	0.6400	0.8834	0.7649	0.9554	0.8484	0.9619	0.8893	1.0128	1.3627
7	0.8214	1.0710	0.9603	0.6781	0.9990	0.8693	0.6976	0.9978	0.8760	1.0021
8	0.2691	1.1131	1.0451	0.7182	0.9604	0.7236	0.9637	1.0039	0.8767	1.0200
9	0.5328	0.8522	1.0428	0.9847	1.0257	0.7505	0.6614	1.1113	0.8899	0.2797
10	0.3707	0.4650	0.8727	0.9098	0.9107	0.7942	1.0294	1.0428	0.6708	0.9527
11	0.7043	0.9933	1.0763	0.8372	0.9877	0.5906	0.9956	0.9464	0.8679	1.0991
12	0.5591	1.0995	0.9656	0.6160	0.8124	0.7077	0.3066	0.7969	1.0565	1.1804
13	0.5233	0.9391	1.0870	0.8203	1.0548	0.6155	0.8680	0.6898	0.9831	0.8489
14	0.5160	1.0219	1.1013	0.6885	1.2153	0.6804	0.9089	0.9609	1.1122	0.2485
15	0.5102	1.2526	0.8489	0.8743	1.2003	0.8146	0.9703	0.8265	1.1474	0.7498

Figura 3 - Evento da Matriz resultante de PPN do evento OF do eletrodo T4 do V050, onde as linhas representam as frequências e as colunas o tempo.

Assim, utilizando os resultados do PPN obtidos anteriormente, foram geradas 20 matrizes para cada evento, uma por eletrodo, estas são armazenadas em uma célula, sendo uma célula associado a um evento. A Figura 4 representa um pedaço da célula com os valores de PPN da evento OF, sendo

representado no eixo das abscissas os eletrodos, como são 20 eletrodos, temos 20 colunas. Por fim, concatenou-se os eletrodos de cada evento, em ordem cronológicas das classificações (OF, MU e PM) gerando 20 matrizes com 83 linha x 180 colunas. Estas matrizes foram armazenadas em uma outra célula de tamanho 1 x 20 e a partir de uma das suas colunas (matriz 83 x 180), referente à um eletrodo, são gerados três mapas de calor para o eletrodo em questão.



	1	2	3	4	5	
1	83x60 double	83x60 double	83x60 double	83x60 double	83x60 double	83x60 double

Figura 4 - Segmento da célula com os resultados do cálculo de PPN para o evento OF do V050, sendo que o eixo das abscissas representa os eletrodos.

Na análise dos dados do V050, também se calculou a estatística descritiva, a qual é composta pela μ e DP de cada um dos três eventos (OF, MU e PM) e pelos DPs das 83 frequências das matrizes concatenadas cronologicamente. A Tabela 2 contém os resultados para o eletrodo T4 do V050, relatando os cálculos da μ e DP das eventos OF, MU e PM, bem como a representação dos p-valores das comparações realizadas entre as classificações.

Tabela 2 - Resultados do PPN da análise estatística do eletrodo T4 para o V050.

Eletrodo T4 do Voluntário 050				
Banda		Delta	Teta	Alfa
Média $\pm$ Desvio Padrão	Olhos Fechados	48,63 $\pm$ 25,93	42,64 $\pm$ 19,91	41,62 $\pm$ 19,60
	Música	51,67 $\pm$ 28,98	62,49 $\pm$ 24,85	64,58 $\pm$ 32,73
	Pós-Música	39,90 $\pm$ 26,28	38,47 $\pm$ 15,33	54,28 $\pm$ 25,73
p-valor	OF x MU	>0,05	***	***
	OF x PM	*	>0,05	*
	MU x PM	*	***	>0,05
Banda		Beta	Gama	Super Gama
Média $\pm$ Desvio Padrão	Olhos Fechados	74,5 $\pm$ 23,34	60,41 $\pm$ 5,39	16,32 $\pm$ 2,31
	Música	121,49 $\pm$ 28,78	98,87 $\pm$ 21,63	38,84 $\pm$ 20,86
	Pós-Música	88,21 $\pm$ 29,26	66,56 $\pm$ 9,8	24,38 $\pm$ 9,11
p-valor	OF x MU	***	***	***
	OF x PM	*	***	***
	MU x PM	***	***	***

* p<0,05; ** p<0,005, *** p<0,0005

A partir da análise da Tabela 2 é possível observar que a μ e DP apresentaram maiores valores na situação em que o voluntário estava sendo estimulado musicalmente, com uma única exceção no DP do ritmo Beta da situação PM. Nota-se que após o estímulo musical os ritmos Delta e Teta obtiveram uma μ menor que na situação OF, e que o DP de Teta nesta situação é o único menor que o DP na situação OF. Percebe-se então a μ do PPN em PM é menor que em MU, porém é um pouco maior em OF nos ritmos Alfa, Beta, Gama e Super Gama.

Observa-se ainda na Tabela 2 que das 18 comparações realizadas pelo de Teste de *Wilcoxon*, apenas três p-valores eram maiores que 0,05, sendo estes referentes a banda delta na comparação OF x MU, teta na comparação OF x PM e alfa na comparação MU x PM; logo as outras 15 comparações indicaram que as amostras são estatisticamente diferentes.

Além da análise estatística presente na Tabela 2, foi apresentado o diagrama tempo-frequência do eletrodo T4 do V050, para que fosse possível visualizar o comportamento da potência do sinal no decorrer do tempo, e a diferença do sinal em cada classificação. A Figura 5 representa os mapas de calor das três bandas analisadas. Ao lado do diagrama tempo-frequência de cada banda estão: os valores das três frequências que obtiveram maior DP (quando analisado os 180 segundos de maneira contínua), os respectivos valores de DP e os valores máximo e mínimo da matriz utilizada para a representação do diagrama tempo-frequência. Nota-se que a matriz do mapa é uma divisão da matriz resultante do cálculo do PPN com as três eventos concatenadas cronologicamente (OF, MU e PM), a qual contém os valores do PPN para os respectivos tempos e frequências. Esta divisão é feita levando em consideração as frequências presentes em cada banda analisada.

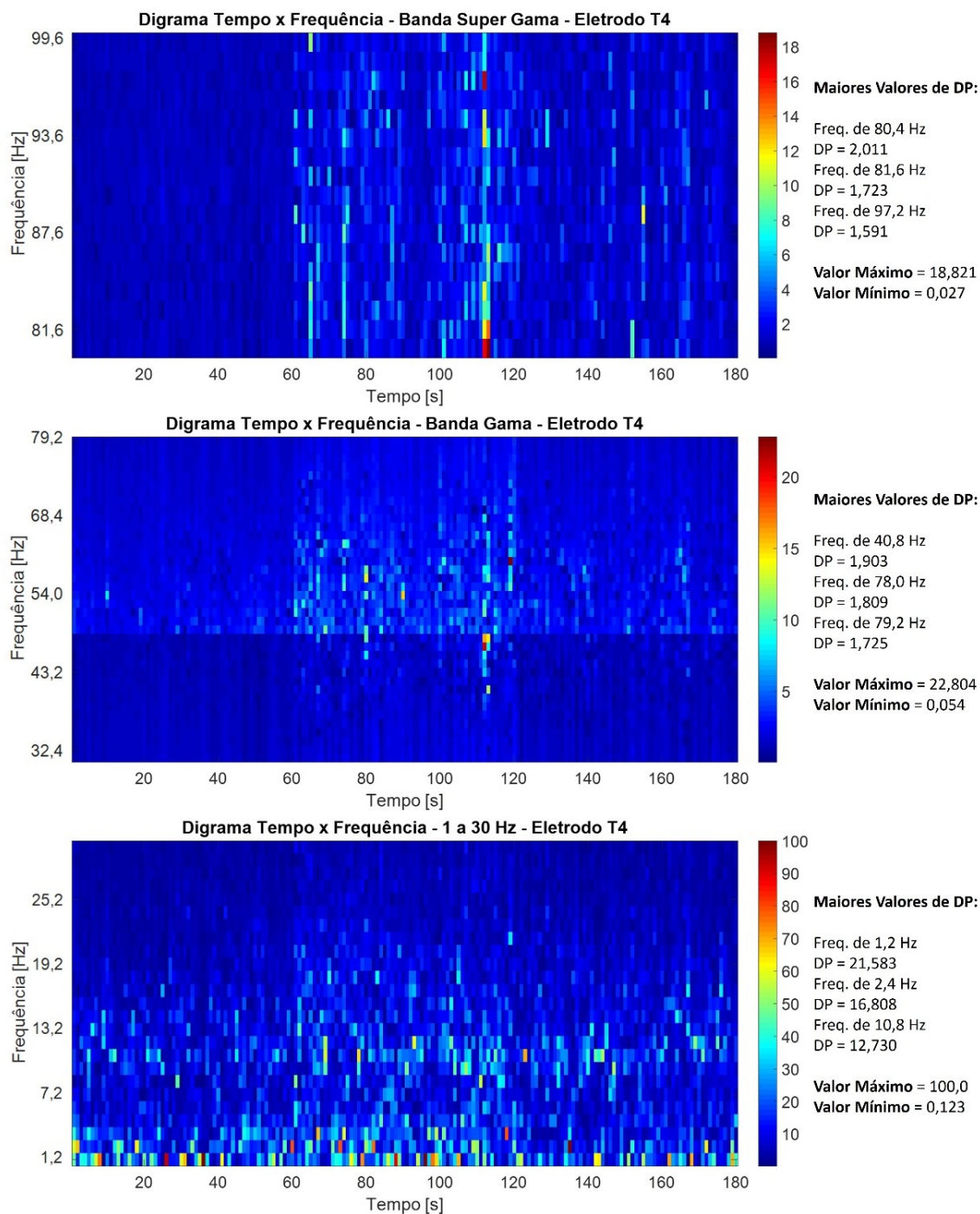


Figura 5 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo T4 do V050.

A partir de uma análise visual das três bandas representadas é possível perceber uma diferença na coloração do mapa entre um evento e outro. Os primeiros 60 segundos, referentes a evento OF, de uma forma geral possuem uma coloração azul escuro, o que indica que apresentam menores valores de PPN, ou seja, uma baixa intensidade. Já os 60 segundos seguintes (60 a 120 segundos), referentes a situação MU, apresentam de uma forma geral valores

de PPN mais elevados e consequentemente uma coloração de azul mais claro. Por fim, observa-se os últimos 60 segundos da Figura 5, referentes a evento PM, os quais possuem um comportamento de coloração intermediário entre OF e MU.

A diferença na coloração é visível nas três bandas analisadas, porém esta é ainda mais notável nas bandas Gama e Super Gama, ambas as bandas apresentaram um valor de PPN muito baixo na situação OF e um aumento do mesmo na situação MU.

Finalmente, ressalta-se que os valores máximo e mínimo ao lado da Figura 5 indicam a faixa de valores do PPN apresentados no diagrama, ou seja, no diagrama da banda clínica o menor valor do PPN é 0,123 e o maior é 100, os outros valores são intermediários a esta faixa. As frequências também presentes na lateral da Figura 5 representam as frequências com maiores valores de DP e seus respectivos DP, ou seja, são as frequências com maiores variações de PPN quando se analisa o sinal de uma maneira contínua, isto é, as três eventos juntas. Em conclusão, observa-se que os valores dos DP na banda clínica são consideravelmente maiores do que nas outras duas bandas.

2.3. Resultados

Os pares de eletrodos escolhidos a partir dos resultados obtidos pelo teste estatístico foram: F3 e F4 da região frontal, C3 e C4 da região central, T5 e T6 da região temporal, P3 e P4 da região parietal, O1 e O2 da região occipital, sendo que a colocação destes eletrodos está representada na Figura 6. Para estes eletrodos foram realizadas as análises estatísticas e a geração dos diagramas tempo-frequência.

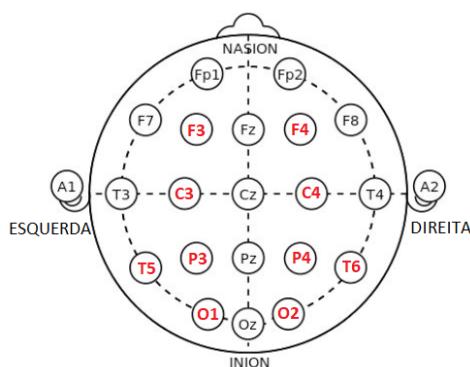


Figura 6 - Colocação dos eletrodos seguido sistema 10-20, onde os eletrodos destacados em vermelho são os analisados no presente trabalho. Fonte: Adaptada de Foz et al., 2017.

A Tabela 3 apresenta os valores de $\mu \pm DP$ das matrizes de medianas dos eletrodos escolhidos para cada evento e os p-valores das comparações realizadas para o ritmo Delta. Analisando os valores da Tabela 3, percebe-se que os valores de μ foram maiores em MU do que em OF apenas para os eletrodos F3, C3, C4 e O2. Nota-se também que estes mesmos eletrodos também apresentaram um aumento no valor do DP do evento MU quando comparado com a evento OF. Além disso, observa-se que apenas os eletrodos F4 e T5 possuíram uma μ maior em PM quando comparado com MU e que os DP dos eletrodos F4, T6, P3 e O1 de MU são menores do que em PM. Por fim, verifica-se que apenas o eletrodo O2 possui a μ maior em PM quando comparado com OF, e que o DP dos eletrodos C3, T5, P4 e O1 são menores em PM do que em OF.

A partir da Tabela 3 é possível observar que na comparação OF x MU para o ritmo Delta, os eletrodos F4, T5, T6, P3 e O2 obtiveram um $p < 0,05$, logo metade dos eletrodos escolhidos foram considerados estatisticamente diferentes. Já na comparação OF x PM apenas três eletrodos obtiveram um $p > 0,05$, estes são T6, O1 e O2. Na comparação MU x PM apenas os eletrodos F3, C3, e C4 foram considerados estatisticamente diferentes.

Tabela 3 - Resultados da análise estatística da Banda Delta das matrizes Tempo x Frequência Mediana dos eletrodos analisados.

Delta						
Eletrodo	Média $\pm$ Desvio Padrão			p-valor		
	Olhos Fechados	Música	Pós Música	OFxMU	OFxPM	MUxPM
F3	40,76 $\pm$ 4,53	42,33 $\pm$ 5,34	39,05 $\pm$ 5,32	>0,05	*	**
F4	42,77 $\pm$ 5,13	38,45 $\pm$ 4,28	39,14 $\pm$ 5,82	***	***	>0,05
C3	36,29 $\pm$ 4,36	36,70 $\pm$ 4,50	34,56 $\pm$ 4,16	>0,05	*	*
C4	38,37 $\pm$ 4,45	39,00 $\pm$ 5,30	36,47 $\pm$ 4,97	>0,05	*	*
T5	27,47 $\pm$ 3,89	25,28 $\pm$ 3,64	25,38 $\pm$ 3,51	**	**	>0,05
T6	27,39 $\pm$ 3,86	25,98 $\pm$ 3,78	25,97 $\pm$ 4,18	*	>0,05	>0,05
P3	30,84 $\pm$ 4,12	28,73 $\pm$ 3,76	28,69 $\pm$ 4,44	*	**	>0,05
P4	30,23 $\pm$ 5,04	28,83 $\pm$ 4,70	27,93 $\pm$ 4,62	>0,05	*	>0,05
O1	17,64 $\pm$ 3,14	17,51 $\pm$ 2,83	17,40 $\pm$ 2,51	>0,05	>0,05	>0,05
O2	15,78 $\pm$ 2,18	16,76 $\pm$ 2,59	15,99 $\pm$ 2,66	*	>0,05	>0,05

* $p < 0,05$; ** $p < 0,005$, *** $p < 0,0005$

A Tabela 4 apresenta as $\mu \pm DP$ das matrizes de medianas dos 10 eletrodos selecionados para cada classificação e os p-valores das três comparações realizadas para o ritmo Teta.

Fundamentado na Tabela 4, apenas os eletrodos F4, T5 e P4 obtiveram μ menor em MU quando comparado com OF, todavia cinco eletrodos apresentaram DP menor em MU do que em PM, sendo estes F4, C3, T5, T6 e P4. Comparando a situação PM com MU, percebe-se que apenas os DP dos eletrodos F4, O1 e O2 são maiores em PM do que em MU e apenas os eletrodos F4, T5 e O1 possuem uma μ maior em PM. Quando se compara OF com PM é possível perceber que os DP dos eletrodos F4, O1 e O2 são também maiores em PM do que em OF e que os eletrodos F4, C3, C4 e P4 possuem μ maior em OF do que em PM.

Em relação aos p-valores resultantes do teste de hipótese de *Wilcoxon* a Tabela 4 mostra que na comparação OF x MU apenas três eletrodos foram considerados estatisticamente diferentes, os quais são F3, C4 e T6. Já na comparação OF x PM, apenas os eletrodos P4 e O1 obtiveram p-valor < 0,05. Por fim, na comparação MU x PM realizada para o ritmo Teta verifica-se que apenas os eletrodos F3, C3, C4 e P4 são estatisticamente diferentes.

Tabela 4 - Resultados da análise estatística da Banda Teta das matrizes Tempo x Frequência Mediana dos eletrodos analisados.

Teta						
Eletrodo	Média $\pm$ Desvio Padrão			p-valor		
	Olhos Fechados	Música	Pós Música	OFxMU	OFxPM	MUxPM
F3	42,35 $\pm$ 4,07	45,17 $\pm$ 4,13	42,95 $\pm$ 3,71	**	>0,05	**
F4	44,39 $\pm$ 3,96	43,63 $\pm$ 3,42	43,74 $\pm$ 3,89	>0,05	>0,05	>0,05
C3	40,71 $\pm$ 3,99	42,12 $\pm$ 3,97	40,61 $\pm$ 3,66	>0,05	>0,05	*
C4	42,43 $\pm$ 3,70	44,33 $\pm$ 4,10	42,01 $\pm$ 3,73	*	>0,05	**
T5	32,02 $\pm$ 2,89	31,55 $\pm$ 2,82	32,55 $\pm$ 2,45	>0,05	>0,05	>0,05
T6	30,42 $\pm$ 2,68	31,59 $\pm$ 2,59	31,11 $\pm$ 2,39	*	>0,05	>0,05
P3	35,12 $\pm$ 3,06	35,65 $\pm$ 3,28	35,16 $\pm$ 2,71	>0,05	>0,05	>0,05
P4	35,29 $\pm$ 3,46	34,93 $\pm$ 3,28	32,83 $\pm$ 3,28	>0,05	***	**
O1	25,26 $\pm$ 2,16	25,79 $\pm$ 2,22	26,67 $\pm$ 2,57	>0,05	*	>0,05
O2	24,42 $\pm$ 1,72	24,90 $\pm$ 1,78	24,66 $\pm$ 1,88	>0,05	>0,05	>0,05

* p<0,05; ** p<0,005, *** p<0,0005

Tal como na Tabela 4, a Tabela 5 apresenta os valores de $\mu \pm DP$ das matrizes de medianas dos 10 eletrodos selecionados para cada classificação e os p-valores das três comparações realizadas, no entanto para o ritmo Alfa. Averiguando a Tabela 5 percebe-se que todos os valores de μ da situação MU são maiores do que em OF e que apenas três eletrodos nesta situação apresentaram DP maior do que em OF, estes são P3, P4 e T6. Observa-se também que todos os eletrodos obtiveram uma μ menor em PM do que em MU, e que dentre estes cinco eletrodos também apresentaram um DP maior em PM do que em MU (F4, T6, P3, P4 e O1). Além disso, apenas os eletrodos F3 e C4 apresentaram μ menor em PM do que em OF, e apenas o eletrodo P4 teve o DP menor em PM do que em OF.

Analisando os p-valores resultantes para o ritmo Alfa presentes na Tabela 5, percebe-se que na comparação OF x MU apenas os eletrodos F3 e O2 são estatisticamente iguais, enquanto que na comparação OF x PM apenas quatro eletrodos são considerados estatisticamente diferentes, estes são F3, T5, P3 e O1. E na última comparação para banda Alfa, MU x PM, apenas 4 eletrodos obtiveram um $p > 0,05$, sendo os eletrodos T5, P3, O1 e O2.

Tabela 5 - Resultados da análise estatística da Banda Alfa das matrizes Tempo x Frequência Mediana dos eletrodos analisados.

Alfa						
Eletrodo	Média $\pm$ Desvio Padrão			p-valor		
	Olhos Fechados	Música	Pós Música	OFxMU	OFxPM	MUxPM
F3	41,27 $\pm$ 3,77	42,75 $\pm$ 3,86	39,86 $\pm$ 3,80	>0,05	>0,05	***
F4	39,96 $\pm$ 2,86	42,57 $\pm$ 3,72	39,97 $\pm$ 3,79	***	>0,05	***
C3	43,74 $\pm$ 3,89	48,58 $\pm$ 4,16	44,69 $\pm$ 3,94	***	>0,05	***
C4	46,11 $\pm$ 4,01	51,91 $\pm$ 4,12	46,00 $\pm$ 4,09	***	>0,05	***
T5	52,84 $\pm$ 5,28	57,03 $\pm$ 5,73	55,63 $\pm$ 5,45	***	*	>0,05
T6	52,66 $\pm$ 5,00	59,15 $\pm$ 4,97	54,13 $\pm$ 5,50	***	>0,05	***
P3	48,06 $\pm$ 4,60	54,10 $\pm$ 4,58	52,67 $\pm$ 5,21	***	***	>0,05
P4	51,90 $\pm$ 5,34	55,05 $\pm$ 4,47	53,05 $\pm$ 5,20	**	>0,05	**
O1	61,26 $\pm$ 5,82	66,88 $\pm$ 6,18	65,09 $\pm$ 6,55	***	**	>0,05
O2	63,91 $\pm$ 5,06	65,76 $\pm$ 6,67	64,24 $\pm$ 5,72	>0,05	>0,05	>0,05

* $p < 0,05$; ** $p < 0,005$, *** $p < 0,0005$

Os resultados de $\mu \pm DP$ das matrizes de medianas dos 10 eletrodos selecionados para cada classificação e os p-valores das três comparações

realizadas para o ritmo Beta estão presentes na Tabela 6. Verificando a Tabela 6 observa-se que, assim como no ritmo Alfa, para ritmo Beta todos os valores de μ da situação MU são maiores que os valores de μ de OF, o mesmo ocorre em relação a PM, todos os valores de μ deste são menores do que os valores de MU. Em relação ao DP apenas dois eletrodos possuem DP maior em MU do que em OF, no caso P3 e T6, e quatro eletrodos possuem DP maior em PM do que em MU, sendo os eletrodos F4, T6, O1 e O2. Quando se analisa PM em relação a OF, observa-se que apenas as μ dos eletrodos F3, F4 e C4 são menores em PM e que apenas o DP do eletrodo T6 é maior em PM.

Em relação aos resultados das comparações presentes na Tabela 6, percebe-se que na comparação OF x MU apenas um eletrodo foi considerado estatisticamente igual, sendo o eletrodo F4. Na comparação OF x PM apenas quatro eletrodos obtiveram $p < 0,05$, estes são T5, T6, P3 e O1. Por último, na comparação MU x PM para banda beta quatro eletrodos possuem $p > 0,05$, no caso os eletrodos T5, P3, O1 e O2.

Tabela 6 - Resultados da análise estatística da Banda Beta das matrizes Tempo x Frequência Mediana dos eletrodos analisados.

Beta						
Eletrodo	Média $\pm$ Desvio Padrão			p-valor		
	Olhos Fechados	Música	Pós Música	OFxMU	OFxPM	MUxPM
F3	56,50 $\pm$ 3,78	58,83 $\pm$ 3,57	56,13 $\pm$ 3,18	**	>0,05	***
F4	56,95 $\pm$ 3,40	57,45 $\pm$ 2,85	56,02 $\pm$ 3,09	>0,05	>0,05	*
C3	58,44 $\pm$ 3,67	63,28 $\pm$ 3,43	59,37 $\pm$ 3,02	***	>0,05	***
C4	61,09 $\pm$ 3,81	66,51 $\pm$ 3,71	59,98 $\pm$ 3,32	***	>0,05	***
T5	61,11 $\pm$ 3,50	63,54 $\pm$ 3,32	63,19 $\pm$ 2,76	***	**	>0,05
T6	60,20 $\pm$ 3,27	64,73 $\pm$ 3,34	61,42 $\pm$ 3,42	***	*	***
P3	58,55 $\pm$ 3,10	63,18 $\pm$ 3,42	62,34 $\pm$ 2,84	***	***	>0,05
P4	61,11 $\pm$ 3,82	63,78 $\pm$ 3,60	61,50 $\pm$ 3,09	***	>0,05	**
O1	62,48 $\pm$ 3,67	65,29 $\pm$ 3,40	64,76 $\pm$ 3,46	***	**	>0,05
O2	61,85 $\pm$ 3,78	63,09 $\pm$ 3,19	61,86 $\pm$ 3,64	*	>0,05	>0,05

* $p < 0,05$; ** $p < 0,005$; *** $p < 0,0005$

A Tabela 7 apresenta as $\mu \pm DP$ das matrizes medianas dos cinco pares de eletrodos escolhidos para cada classificação e os p-valores das três comparações realizadas para o ritmo Gama. Fundamentado na Tabela 7 percebe-se que assim como nos ritmos Alfa e Beta, todos os valores de μ da

banda gama para a classificação MU foram maiores do que na classificação OF. Apenas os eletrodos O1 e O2 apresentaram um DP maior em MU do que em OF. Quando se compara os valores de μ de MU com PM, apenas os eletrodos T5 e T6 apresentaram μ menor em MU do que em PM, e os eletrodos F3, F4, C4, P3 e P4 apresentaram um DP maior em PM do que em MU. Apenas os eletrodos F4, C4 e P4 apresentaram μ menor em PM do que em OF e apenas o eletrodo P4 possui DP maior em PM do que em OF.

Em relação aos p-valores para as comparações realizadas para o ritmo Gama a Tabela 7 mostra que para a comparação OF x MU assim como na banda beta apenas o eletrodo F4 possui $p > 0,05$. Na comparação OF x PM apenas o eletrodo P4 foi considerado estatisticamente igual. Na comparação MU x PM nove eletrodos foram considerados estatisticamente diferentes, com exceção do eletrodo O1.

Tabela 7 - Resultados da análise estatística da Banda Gama das matrizes Tempo x Frequência Mediana dos eletrodos analisados.

Eletrodo	Gama					
	Média $\pm$ Desvio Padrão			p-valor		
	Olhos Fechados	Música	Pós Música	OFxMU	OFxPM	MUxPM
F3	52,42 $\pm$ 1,05	55,54 $\pm$ 0,89	53,21 $\pm$ 1,04	***	***	***
F4	54,14 $\pm$ 1,40	54,46 $\pm$ 1,16	53,25 $\pm$ 1,18	>0,05	**	***
C3	53,90 $\pm$ 1,16	58,68 $\pm$ 1,12	55,91 $\pm$ 1,07	***	***	***
C4	56,48 $\pm$ 1,37	60,84 $\pm$ 1,15	55,28 $\pm$ 1,19	***	***	***
T5	51,60 $\pm$ 1,12	53,41 $\pm$ 1,11	53,97 $\pm$ 1,02	***	***	**
T6	50,77 $\pm$ 1,31	54,35 $\pm$ 1,29	52,34 $\pm$ 1,06	***	***	***
P3	51,73 $\pm$ 1,25	54,40 $\pm$ 1,04	54,92 $\pm$ 1,20	***	***	*
P4	53,03 $\pm$ 1,17	54,90 $\pm$ 1,15	52,68 $\pm$ 1,27	***	>0,05	***
O1	48,49 $\pm$ 1,01	51,10 $\pm$ 1,22	50,84 $\pm$ 0,96	***	***	>0,05
O2	48,04 $\pm$ 1,05	50,46 $\pm$ 1,11	48,79 $\pm$ 1,05	***	***	***

* $p < 0,05$; ** $p < 0,005$; *** $p < 0,0005$

Por fim, a última banda analisada é a Super Gama, os resultados de $\mu \pm DP$ das matrizes de medianas dos 10 eletrodos selecionados para cada classificação e os p-valores das três comparações realizadas para esta banda estão presentes na Tabela 8. Por meio de uma análise da Tabela 8, constata-se que para o ritmo Super Gama os valores de μ de nove eletrodos da classificação MU são maiores do que na classificação OF, com exceção do eletrodo F4, e

apenas três eletrodos possuem DP maior em MU do que em OF, estes são F3, C3 e O1. Assim como no ritmo Gama, apenas dois eletrodos possuem a μ maior em PM quando comparada com MU (T5 e T6), porém os eletrodos F3, C3, T5 e O1 possuem DP menor em PM do que MU. Além disso, apenas os eletrodos F4, C4 e P4 possuem μ menor em PM do que em OF, enquanto metade dos eletrodos possuem um DP maior (T6, P3, P4, O1 e O2).

As comparações realizadas para os 10 eletrodos utilizando o Teste de *Wilcoxon* mostram que os p-valores resultantes das comparações OF x MU, OF x PM e MU x PM para o ritmo Super Gama possuem um comportamento semelhante ao ritmo Gama, com exceção do eletrodo T5 na comparação MU x PM, uma vez que no ritmo Super Gama o eletrodo T5 é considerado estatisticamente igual e no ritmo Gama ele é considerado diferente, como pode ser vistos na Tabela 7 e na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados da análise estatística da Banda Super Gama das matrizes Tempo x Frequência Mediana dos eletrodos analisados.

Super Gama						
Eletrodo	Média $\pm$ Desvio Padrão			p-valor		
	Olhos Fechados	Música	Pós Música	OFxMU	OFxPM	MUxPM
F3	14,28 $\pm$ 0,46	15,12 $\pm$ 0,49	14,43 $\pm$ 0,42	***	*	***
F4	14,90 $\pm$ 0,54	14,84 $\pm$ 0,43	14,59 $\pm$ 0,45	>0,05	**	**
C3	14,76 $\pm$ 0,45	16,05 $\pm$ 0,50	15,20 $\pm$ 0,41	***	***	***
C4	15,36 $\pm$ 0,53	16,61 $\pm$ 0,48	14,96 $\pm$ 0,50	***	***	***
T5	14,02 $\pm$ 0,40	14,49 $\pm$ 0,40	14,62 $\pm$ 0,38	***	***	>0,05
T6	13,73 $\pm$ 0,45	14,68 $\pm$ 0,45	14,10 $\pm$ 0,47	***	***	***
P3	14,14 $\pm$ 0,47	14,79 $\pm$ 0,46	14,98 $\pm$ 0,48	***	***	*
P4	14,56 $\pm$ 0,47	14,96 $\pm$ 0,44	14,40 $\pm$ 0,48	***	>0,05	***
O1	13,09 $\pm$ 0,38	13,66 $\pm$ 0,51	13,61 $\pm$ 0,39	***	***	>0,05
O2	12,99 $\pm$ 0,37	13,65 $\pm$ 0,37	13,16 $\pm$ 0,41	***	*	***

* p<0,05; ** p<0,005, *** p<0,0005

Além da análise estatística presente nas tabelas antes expressas, foi realizada a análise visual dos diagramas tempo-frequência gerados a partir das matrizes de medianas concatenadas cronologicamente dos eletrodos escolhidos pelo teste de hipótese, sendo os mesmos eletrodos da análise estatística anteriormente apresentada. Estas matrizes de mediana contém os resultados da mediana de PPN dos 42 voluntários seguindo a ordem cronológica dos eventos

(OF, MU, PM), sendo uma matriz por eletrodo. Estas matrizes foram subdivididas em bandas de frequências, sendo gerados três mapas por eletrodo um mapa para cada banda, um para banda Clínica, um para a Gama e um para Super Gama, assim como foi feito para o V050 estes mapas foram agrupados em uma única imagem. Ao todo são geradas 10 imagens, uma para cada eletrodo escolhido.

O primeiro eletrodo analisado visualmente é o F3, este é pertencente a região frontal do córtex cerebral e o diagrama tempo-frequência das três bandas analisadas de F3 está representado na Figura 7.

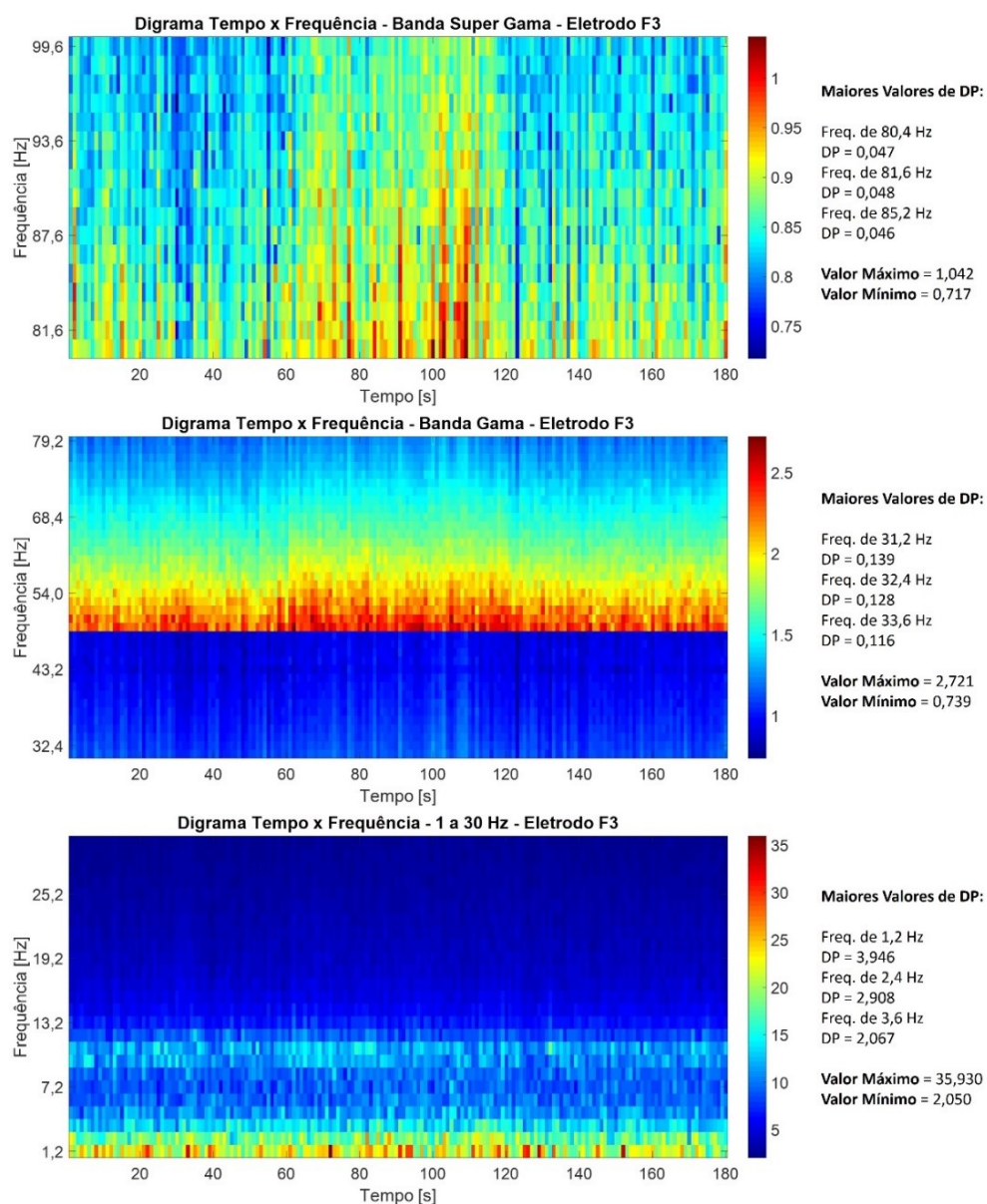


Figura 7 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo F3 da mediana dos 42 voluntários

Analisando a Figura 7 é possível observar que na banda Super Gama existe um aumento na intensidade PPN geral em toda faixa de frequência na situação MU, e na situação PM, últimos 60 segundos, sua coloração é intermediária entre OF e MU, mantendo evento da ativação. Já na banda Gama existe um aumento na intensidade de PPN das frequências em torno de 54 Hz na situação MU, qual é representada nos 60 segundos intermediários dos mapas de calor, ou seja, de 60 a 120 segundos, apresentando uma coloração mais avermelhada nesse evento. A coloração entre os 60 segundos iniciais e finais é semelhante, indicando que a situação OF e PM na banda Gama possui um comportamento parecido.

Porém não é possível perceber grandes diferenças na banda clínica, 1 a 30 Hz, quando se compara as três classificações, mas existe uma pequena diminuição na intensidade de PPN entre 7,2 a 13,2 Hz na situação PM quando comparado com OF e MU, isto é observado pelo leve aumento da coloração azul escuro neste trecho. O mesmo ocorre no ritmo Delta, onde observa-se que na primeira frequência do mapa, a de 1,2 Hz, apresenta menos tons vermelhos escuros e alaranjados na situação OF, o que indica uma diminuição na intensidade do mesmo.

O próximo eletrodo analisado é o F4, a Figura 8 é representação do diagrama tempo-frequência do mesmo.

Considerando a Figura 8 conclui-se que na banda Gama a mediana do PPN dos 42 voluntários na situação OF e MU possui um comportamento semelhante, porém é observado uma diminuição na intensidade do sinal entre as frequências de 50 a 68 Hz na situação PM. O ritmo Super Gama possui um comportamento semelhante ao Gama, o comportamento do sinal em OF e MU é bem semelhante e existe uma atenuação de PPN na situação PM.

Na banda clínica é mais difícil observar diferenças entre as três classificações, porém entre 7,2 a 13,2 Hz, frequência pertencentes ao ritmo Alfa, existe uma pequena ativação na situação MU, observada pelo aumento de azul claro nessa faixa nos 60 segundos intermediários. E que na banda Delta, qual é composta pelas frequências de 1,2 Hz e 2,4 Hz, existe uma diminuição no PPN na situação MU e PM quando se compara com a situação OF, observa-se que diminui a quantidade de tons avermelhados nestas duas classificações, e que

PM já apresenta uma coloração mais avermelhada do que MU, o que indica um comportamento intermediário entre as classificações OF e UM.

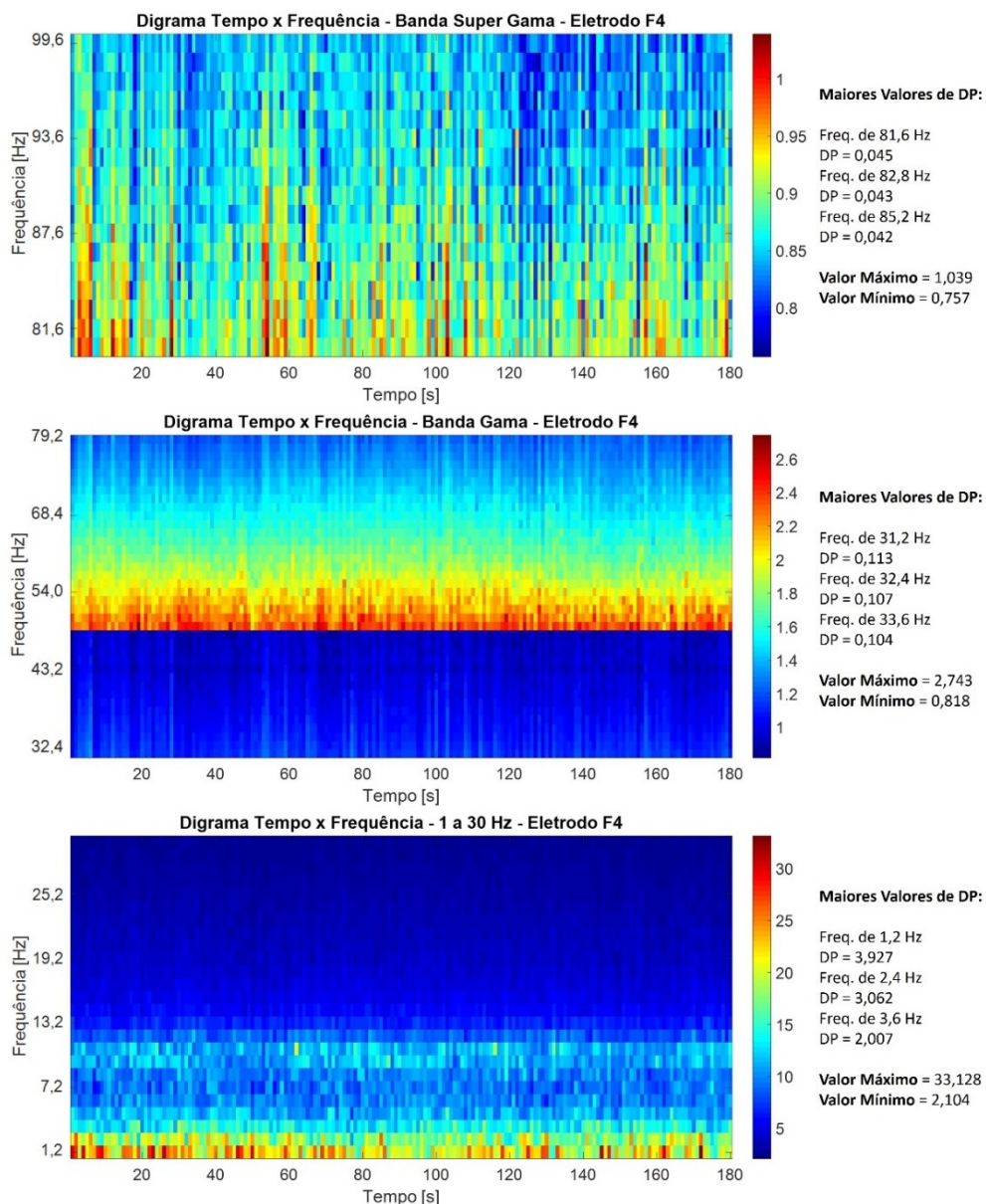


Figura 8 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo F4 da mediana dos 42 voluntários

Na Figura 9 é representado o diagrama tempo-frequência das três bandas de C3, eletrodo pertencente a região central do córtex.

Analisando a Figura 9, percebe-se que o comportamento do eletrodo C3 é semelhante ao F3, neste existe um aumento da intensidade de PPN na evento MU nos ritmos Gama e Super Gama, devido ao aumento da coloração avermelhada neste trecho, e a evento PM nestes ritmos apresenta uma coloração intermediária entre OF e MU, indicando a diminuição da intensidade

de PPN após o termino da música, porém o sinal continua um pouco mais intenso que em OF.

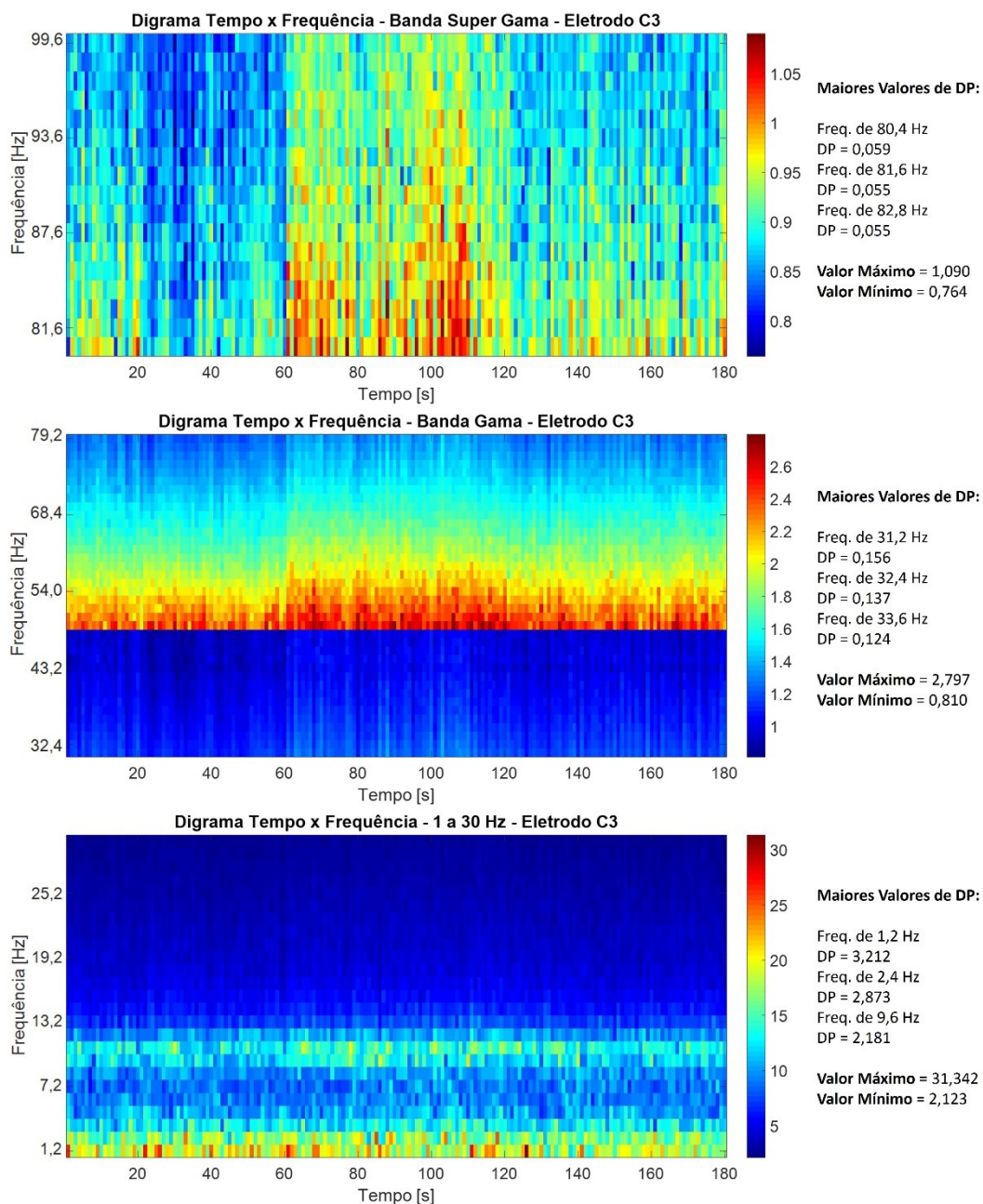


Figura 9 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo C3 da mediana dos 42 voluntários.

Já quando se avalia as frequências pertencentes a banda clínica, observa-se na Figura 9 que na situação MU as frequências intermediárias à 7,2 e 13,2 Hz apresentam uma maior quantidade de pontos amarelos esverdeados do que as situações OF e PM, indicando um aumento na intensidade de PPN nestas frequências. Já as duas primeiras frequências desta banda, 1,2 e 2,4 Hz, as quais pertencem ao ritmo Delta, sofrem uma atenuação em OF quando

comparadas com os dois eventos anteriores, as quais possuem comportamento semelhante nestas duas frequências.

O próximo eletrodo analisado é o C4, par simétrico de C3, sendo que a Figura 10 é a representação do diagrama tempo-frequência da mediana de PPN dos 42 voluntários para este eletrodo.

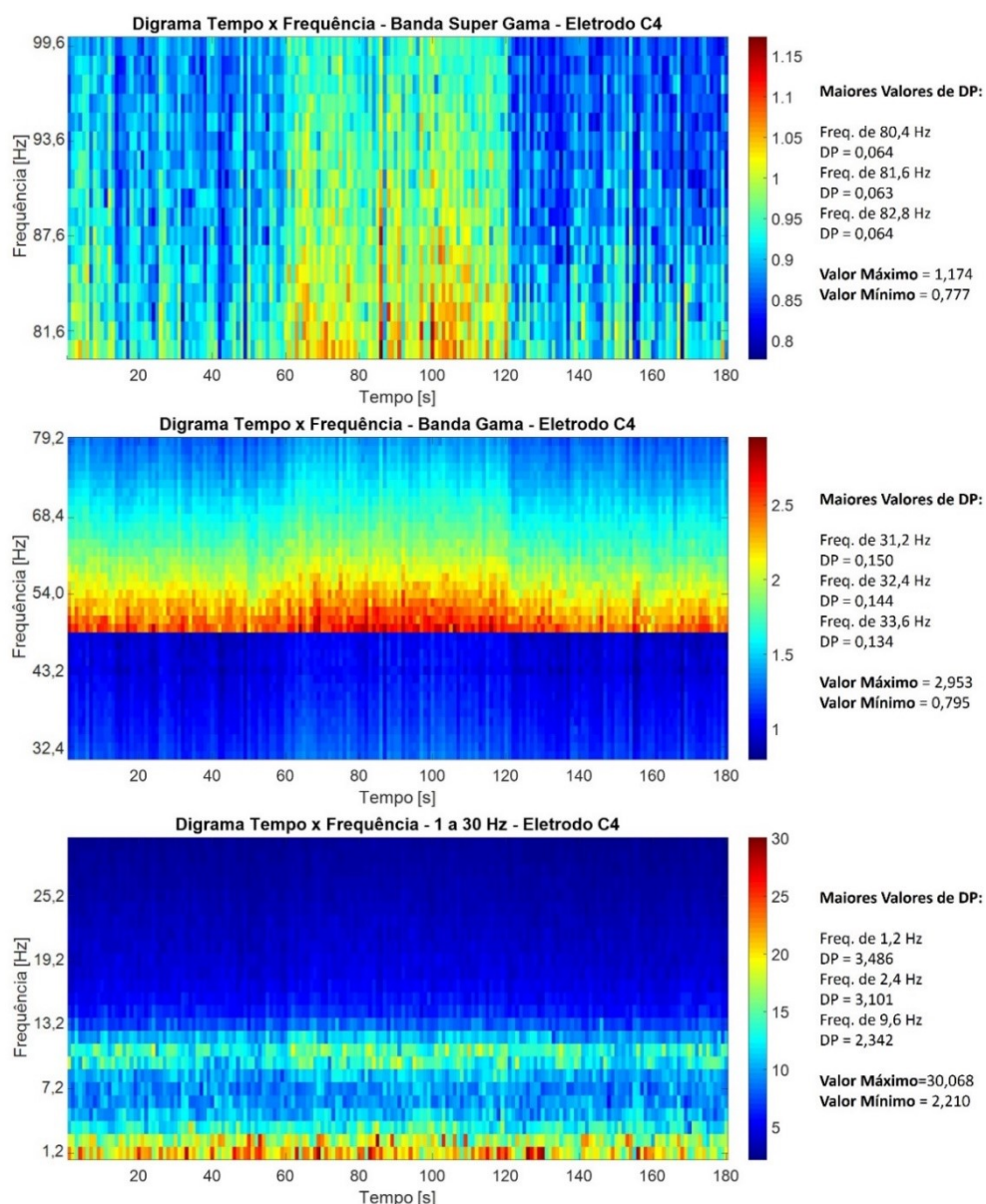


Figura 10 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo C4 da mediana dos 42 voluntários.

Quando se considera o comportamento da evento MU do eletrodo C4 é possível perceber, na Figura 10, que nesta evento há um aumento da intensidade de PPN nos ritmos Alfa, Gama e Super Gama, onde na evento Alfa

ocorre um aumento de tons amarelos, já em Gama existe um aumento de tons vermelhos nas frequências em torno de 54 Hz e, por fim, em toda a faixa de frequências pertencentes ao ritmo Super Gama se verifica um aumento de tons amarelos.

Também é possível perceber que após o termino do estímulo há uma atenuação do sinal, sendo este visualmente menor do que em OF nos ritmos Gama e Super Gama, porém bem semelhante à OF no ritmo Alfa. A potência do sinal também é atenuada em PM no ritmo Delta, composto pelas frequências de 1,2 Hz e 2,4 Hz, e neste evento existe uma diminuição de pontos nos tons vermelhos e alaranjados, quando comparadas com os eventos OF e MU.

O próximo eletrodo analisado é o T5, pertencente a região temporal do córtex cerebral, a Figura 11 é a representação dos mapas de calor deste eletrodo.

Quando se observa a Figura 11 percebe-se que na banda Super Gama há um aumento da potência do sinal com a estimulação musical, observada pela mudança na coloração durante os 60 segundos intermediários. Esta mudança da coloração continua durante os 60 segundos finais referentes a evento PM, sendo que a evento MU e PM possuem neste eletrodo um comportamento de PPN bem semelhante.

Analisando o mapa da banda Gama de T5 percebe-se que existe um leve aumento na intensidade de PPN na faixa de frequências em torno de 54 Hz durante a estimulação com o Hino do Japão, e este leve aumento permaneceu durante o minuto pós a estimulação. Logo a evento MU e PM possuem uma coloração semelhante, com uma faixa de frequências com tons avermelhados mais espessa do que no evento OF.

A banda Clínica possui uma coloração mais uniforme entre os três eventos, porém quando se analisa faixas de frequências separadamente é possível observar diferenças entre os três eventos. Na faixa pertencente ao ritmo Delta, as duas primeiras frequências representadas no mapa (1,2 e 2,4 Hz) existe uma leve mudança de coloração em MU, a qual permanece em PM, em OF esta faixa possui tons mais amarelados e MU e PM houve um aumento de tons azuis e verde água, essa mudança de coloração indica uma leve diminuição da potência do sinal durante a estimulação musical, tal comportamento se

manteve após o termino da estimulação. É possível notar que a faixa de frequências entre 7,2 Hz e 13,2 Hz, frequências pertencentes ao ritmo Alfa, possuem uma mudança na coloração durante a evento MU, e esta indica um aumento da potência do sinal durante a estimulação, observada pelo aumento de tons avermelhados neste evento, observa-se também que este aumento permanece após o término do estímulo musical.

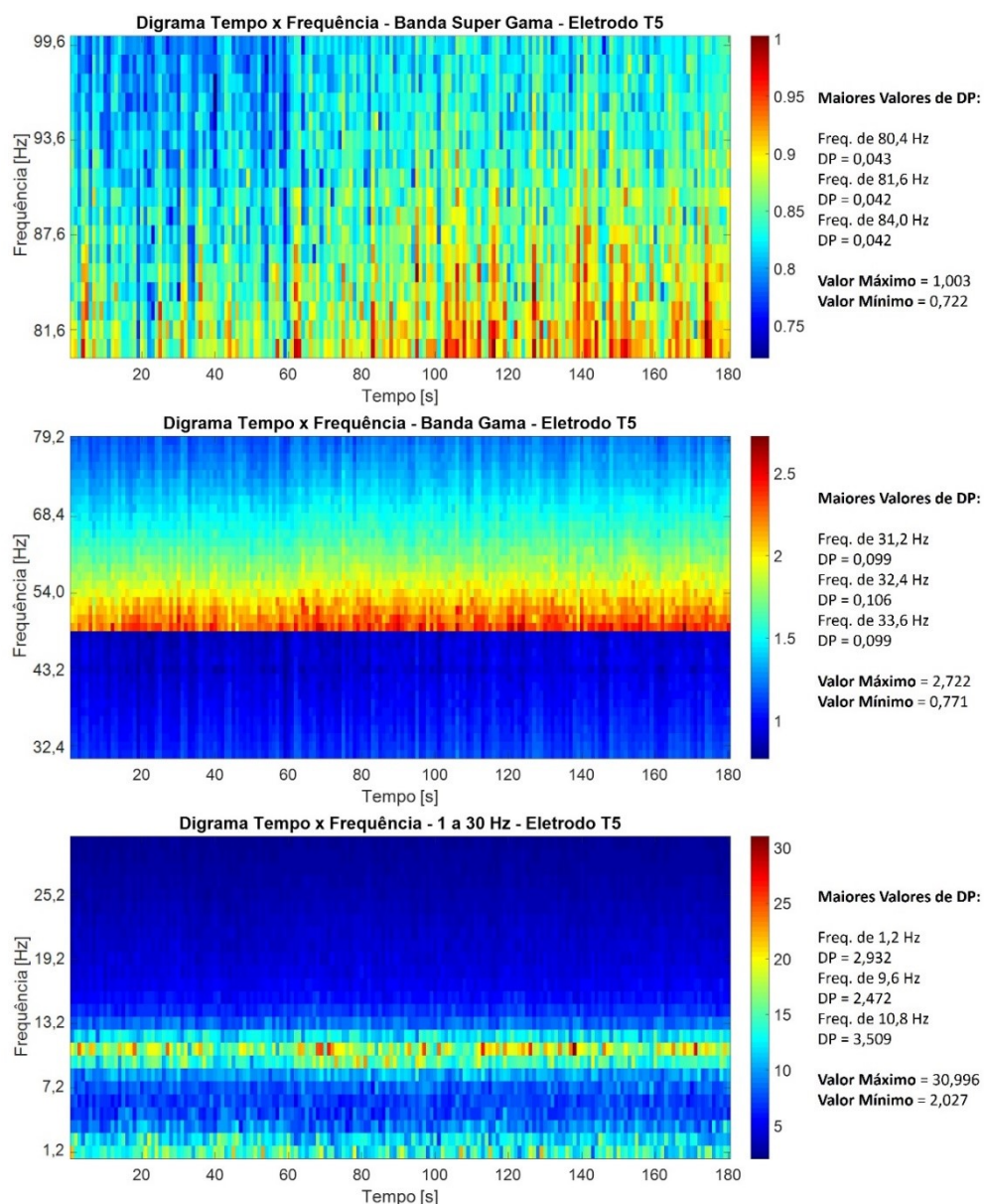


Figura 11 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo T5 da mediana dos 42 voluntários.

A Figura 12 representa os mapas de calor do eletrodo T6, por simétrico de T5.

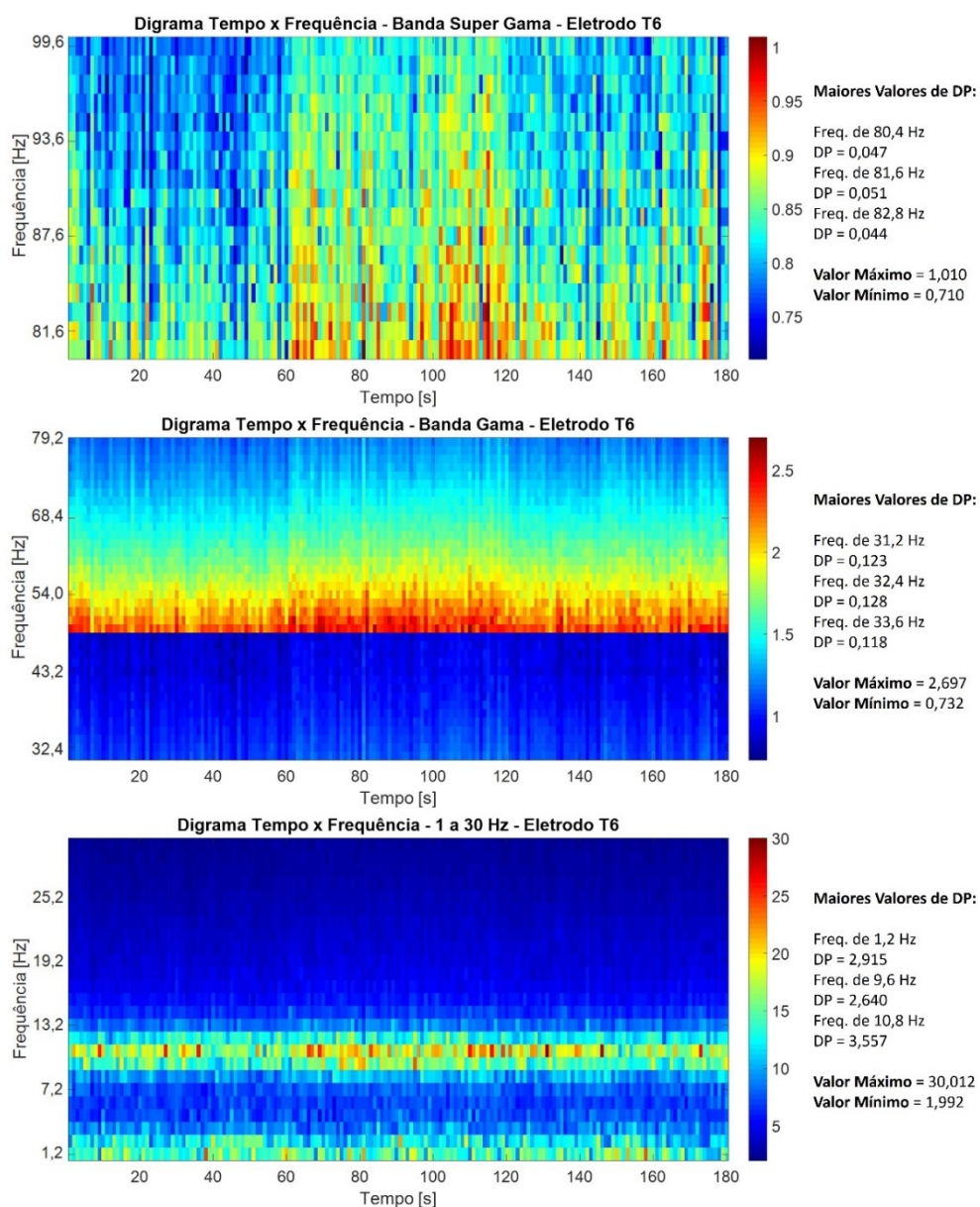


Figura 12 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo T6 da mediana dos 42 voluntários.

Considerando a Figura 12 é possível perceber um aumento na potência do sinal na banda Super Gama durante a estimulação musical, indicado pela coloração mais avermelhada do gráfico quando comparada com o evento OF. Após o término do estímulo há uma atenuação no PPN em relação ao evento MU, porém a intensidade neste ainda é maior do que durante OF, indicando um comportamento intermediário à OF e a MU.

Na banda Gama houve um aumento da intensidade de PPN durante a estimulação com hino do Japão, principalmente nas frequências em torno de 54 Hz, após a finalização do estímulo musical houve uma diminuição da intensidade

de PPN, porém esta ainda é um pouco mais intensa durante PM do que durante OF, apresentando, assim como em Super Gama, um comportamento intermediário a OF e a MU.

Analisando a banda Clínica é possível perceber uma leve atenuação em MU nas frequências pertencentes a banda Delta. Após o término do estímulo musical o sinal volta a ser semelhante a situação OF, e na faixa de frequência intermediária as frequências de 7,2 Hz e 13,2 Hz, ritmo Alfa, há um aumento na intensidade do PPN durante a estimulação musical, indicado pelo aumento de pontos avermelhados. Finalizado o estímulo a intensidade diminui e o comportamento do PPN volta a ser semelhante a situação OF. Nas frequências de 3,6 Hz a 7,2 Hz, ritmo Teta, ocorre um leve aumento do PPN durante o estímulo musical, indicado pela coloração azul clara durante este trecho. Sendo que cessado o estímulo a potência do sinal diminui novamente. Observa-se, no entanto, que não é possível ver diferença no diagrama tempo-frequência entre os três eventos no ritmo Beta.

A próxima região analisada é a região Parietal do córtex cerebral, a Figura 13 representa os mapas de calor das três bandas analisadas para o eletrodo P3.

Ao examinar a Figura 13 é possível perceber um aumento na intensidade do PPN no eletrodo P3 durante a estimulação musical com o hino do Japão na banda Super Gama e que este aumento continua após a finalização da estimulação, sendo a intensidade do PPN após a estimulação musical, ou seja, no seguimento PM, levemente maior do que na evento MU, devido a ocorrência de tons amarelos.

Na banda Gama também há um aumento da intensidade do PPN durante a estimulação musical, sendo esta perceptível nas frequências em torno de 54 Hz. Após o término da estimulação, a intensidade do PPN continua mais elevada do que em OF, sendo o comportamento da coloração deste evento semelhante ao comportamento do evento MU.

Analisando a banda Clínica para o eletrodo P3 é possível perceber que no ritmo Delta, representado pelas duas primeiras frequências no diagrama tempo-frequência da banda Clínica, existe uma diminuição da intensidade do PPN durante a estimulação musical e que isto permanece após o término do estímulo, o que é perceptível pelo fato que nos eventos MU e PM existe menos

incidência de tons amarelos do que em OF. Outra diferença visível, ocorre no ritmo Alfa, frequências entre 7,2 Hz e 13,2 Hz, onde ocorre um aumento da intensidade do PPN durante a estimulação com o hino do Japão, perceptível pelo aumento da quantidade de pontos avermelhados. Nota-se que este aumento permanece após a finalização do estímulo, porém há uma pequena diminuição desta intensidade quando comparada a evento MU. Quanto a intensidade do PPN para o ritmo Teta, pode-se dizer que a mesma se manteve com um comportamento semelhante durante os três eventos, não sendo possível, também, visualizar diferenças entre as três etapas para o ritmo Beta.

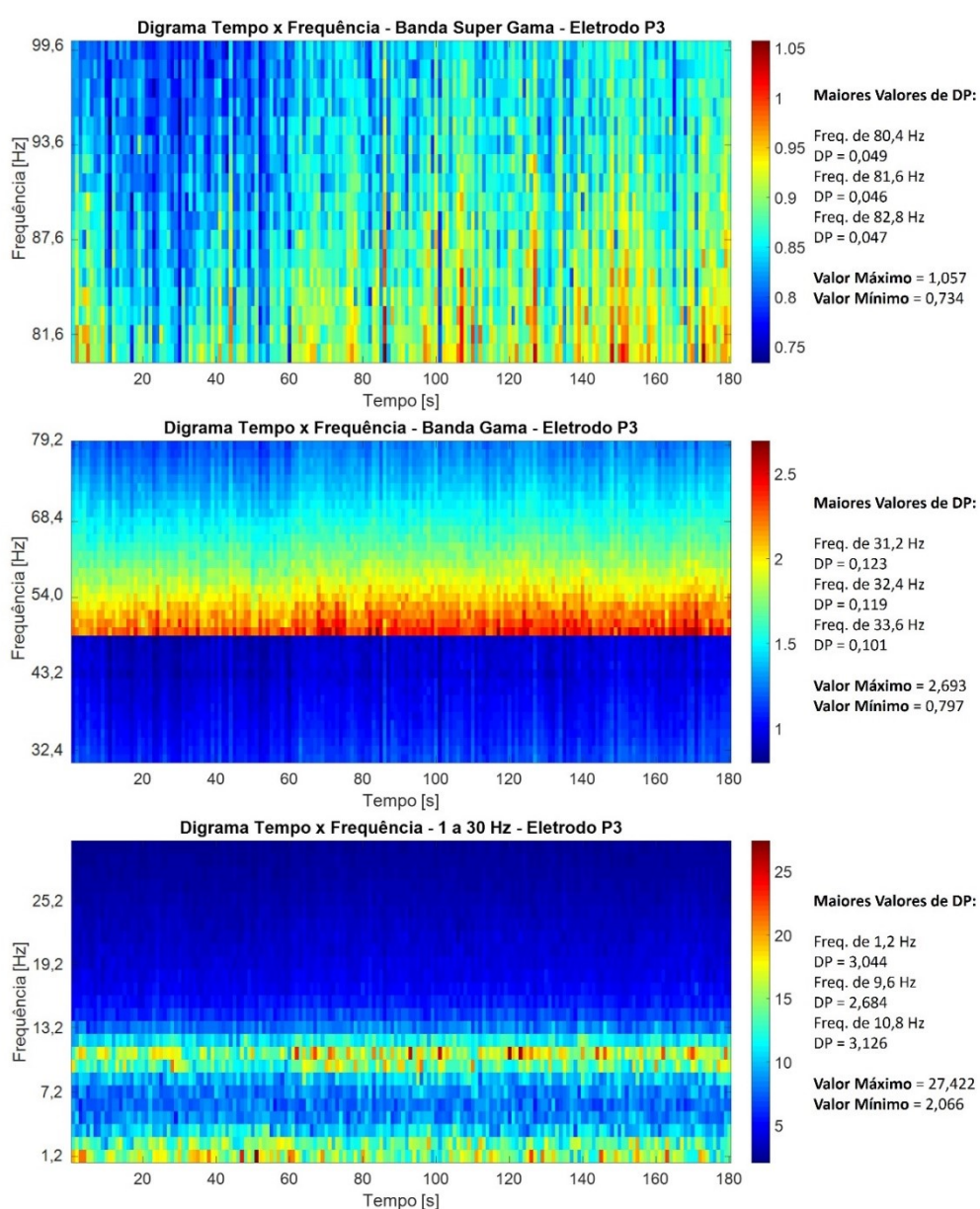


Figura 13 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo P3 da mediana dos 42 voluntários.

A Figura 14 é a representação dos mapas de calor das três bandas analisadas para o eletrodo T4, também pertencente a região Parietal.

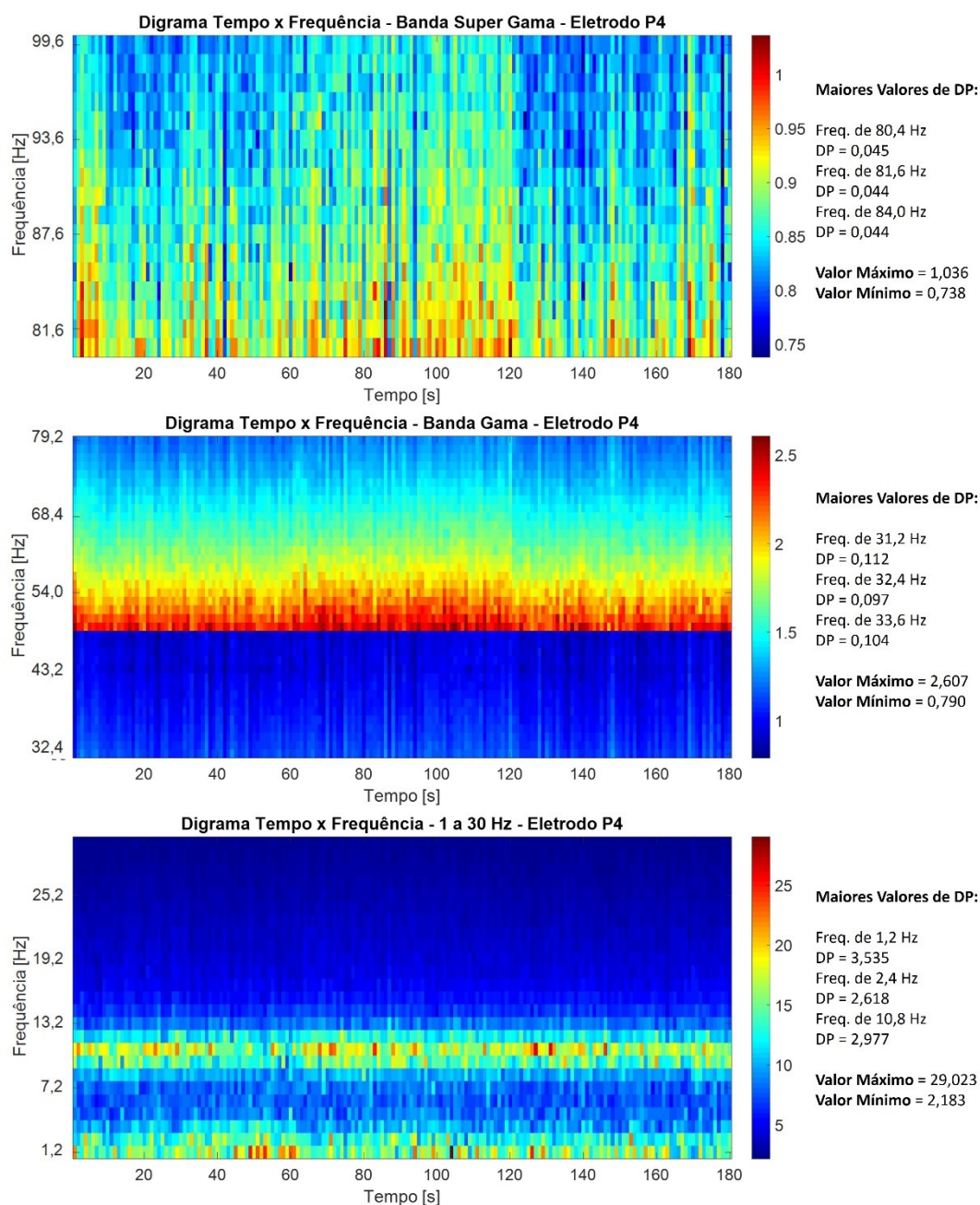


Figura 14 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo P4 da mediana dos 42 voluntários.

Analisando o diagrama tempo-frequência da banda Super Gama do eletrodo P4, presente na Figura 14, é possível perceber um aumento na intensidade do PPN durante a estimulação musical e que após a finalização do

estímulo a intensidade do PPN diminui, sendo neste evento levemente menor do que durante a situação OF.

Na banda Gama o comportamento do PPN para o eletrodo P4 é bem semelhante a banda Super Gama, como pode ser visto na Figura 14 a intensidade deste aumenta durante a estimulação com o hino do Japão e volta a diminuir após o término do estímulo, sendo a intensidade do PPN em PM levemente menor do que em OF, assim como para o ritmo Super Gama.

Por fim, a última banda analisada para este eletrodo é a banda Clínica, que inclui frequências de 1 a 30 Hz. Analisando esta banda percebe-se que nas duas primeiras frequências, pertencentes ao ritmo Delta, há uma diminuição da intensidade do PPN durante a estimulação musical, e finalizando o estímulo o comportamento do PPN é semelhante ao evento MU, porém sua intensidade é levemente menor. Outra mudança perceptível se faz no ritmo Teta, onde a evento PM apresenta a menor intensidade do PPN, possuindo mais pontos azul escuro, porém em OF e MU o PPN possui comportamento e intensidade bem semelhantes. Para o ritmo Alfa, a intensidade do PPN aumenta durante a estimulação musical, existindo, neste evento, mais pontos alaranjados para esta faixa de frequência. Após a finalização do estímulo a intensidade do PPN volta a diminuir. Por fim, nota-se que não é possível visualizar diferença entre os três eventos para o ritmo Beta.

A última região do córtex cerebral analisada é a região Occipital. Na Figura 15 está a representação do diagrama tempo-frequência das três bandas analisadas para o eletrodo O1.

Examinando o diagrama tempo-frequência da banda Super Gama do eletrodo O1, presente na Figura 15, é possível perceber um aumento na intensidade do PPN durante a estimulação musical, nota-se também que o comportamento do PPN após a estimulação é bem semelhante a evento MU, porém levemente menos intenso.

Ademais, percebe-se na Figura 15 que o diagrama tempo-frequência da banda Gama possui um comportamento semelhante ao da banda Super Gama, apresentando um aumento na intensidade do PPN durante a estimulação musical e do PPN após o término do estímulo, dando a impressão de ser

levemente menor em intensidade. Sendo que isso ocorre principalmente nas frequências em torno de 54 Hz.

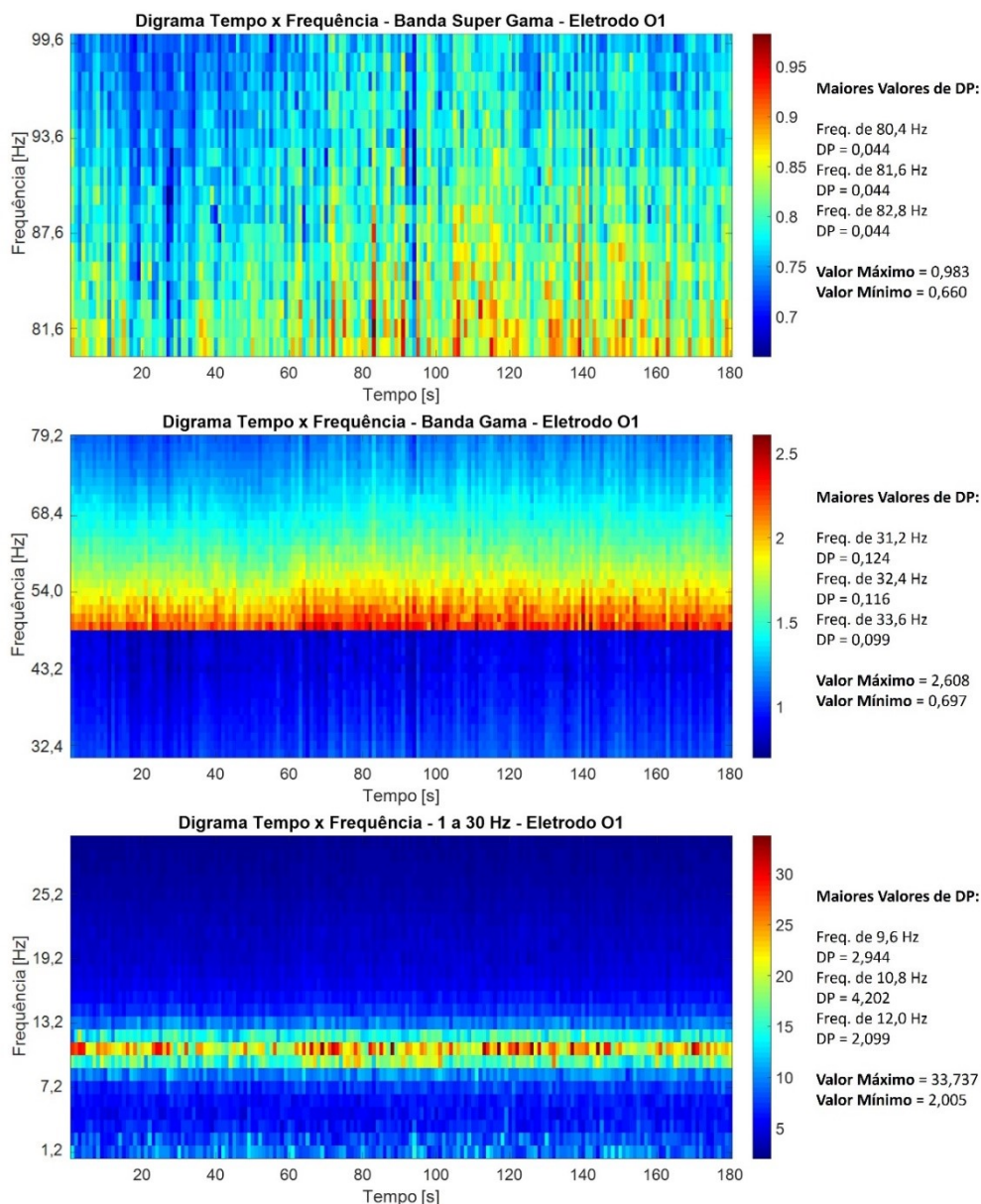


Figura 15 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo O1 da mediana dos 42 voluntários.

Por fim, verifica-se na Figura 15 que quando se examina a banda clínica de uma forma geral é difícil perceber diferenças entre os três eventos, porém quando se analisa os ritmos presentes nesta separadamente é possível perceber algumas variações na potência do sinal. Observa-se que no ritmo teta da evento PM há um leve aumento na intensidade do PPN tendo este uma coloração azul mais clara, principalmente se comparada a evento OF. Outras mudanças perceptíveis se fazem no ritmo Alfa, que durante a estimulação musical apresenta um aumento na intensidade do PPN, tendo nesta evento mais pontos

vermelhos do que em OF, e após a finalização do estímulo apresenta o comportamento do PPN parecido com a evento MU, porém levemente menos intenso. Finalmente, nota-se que tanto no ritmo Delta quanto no Beta o comportamento do PPN é bem semelhante durante os três eventos, não sendo possível visualizar diferenças nestes ritmos.

O último eletrodo analisado é o O2, sendo este o par simétrico de O1. A representação do diagrama tempo-frequência de O2 se encontra apresentada na Figura 16.

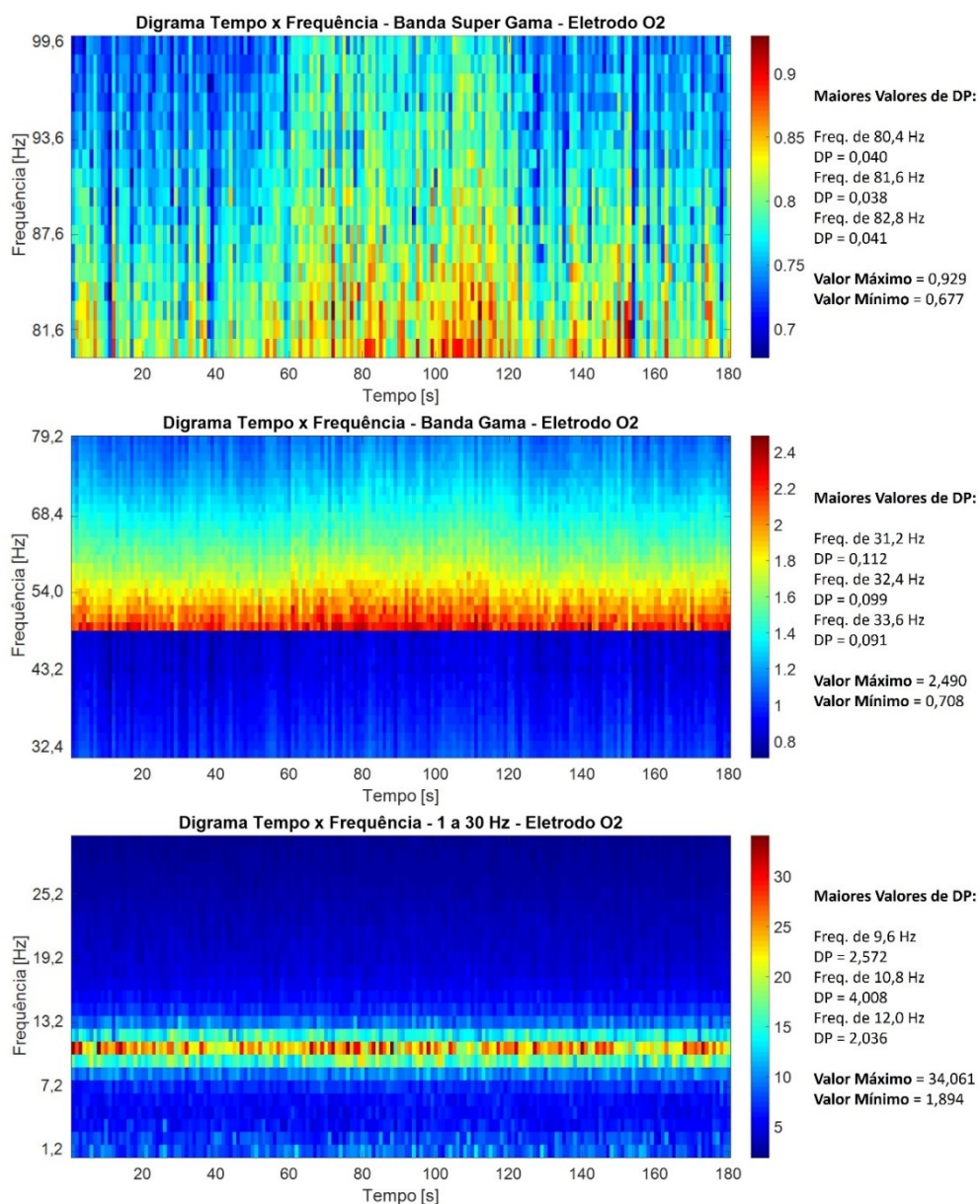


Figura 16 - Diagrama tempo-frequência do eletrodo O2 da mediana dos 42 voluntários.

No diagrama tempo-frequência da banda Super Gama para o eletrodo O2, Figura 16, é possível perceber um aumento na intensidade do PPN durante a estimulação musical, e que após o término da estimulação a intensidade do PPN diminui, porém ainda é maior do que em OF, tendo então um comportamento intermediário a OF e a MU.

Ainda na Figura 16, nota-se que o comportamento da banda Gama é semelhante ao da banda Super Gama, e que nestas bandas durante a estimulação musical há um aumento na intensidade da potência do sinal, como pode ser visto pelo aumento de pontos avermelhados nas frequências em torno de 54 Hz, e que após o término da estimulação a potência do sinal diminui, sendo que o PPN em PM é levemente maior do que em OF.

Finalmente, analisando a banda Clínica é possível perceber um leve aumento na intensidade do PPN durante a estimulação musical na banda Delta e que após o término da música a intensidade deste diminui um pouco. Para o eletrodo O2 não é possível perceber diferenças significativas quando se compara os três eventos no ritmo Teta, Alfa e Beta.

Analisando todos os 10 diagramas tempo-frequência da banda Gama observa-se que esta apresenta duas faixas de frequências distintas, a primeira faixa de 30 a 48 Hz com baixa energia, com a amplitude de potência mais baixa do que a faixa de frequência de 48 a 80 Hz, por isso a coloração diferenciada em todos diagramas entre as duas faixas, nota-se também que ambas as faixas variam com a estimulação musical, porém a coloração da primeira é sempre em tons de azul, enquanto na segunda existe uma variação maior de coloração. Percebe-se também que a maior contribuição de potência da banda Gama é entre a faixa de frequência de 48 a 68,4 Hz, onde a coloração dos diagramas possui tons mais avermelhados.

A Tabela 9 apresenta as frequências com maior DP de maneira contínua por região cerebral quando se analisa os 180 segundos contínuos, eventos OF, MU e PM concatenados cronologicamente, da mediana dos 42 voluntários, sendo um resumo das frequências apresentadas na lateral dos diagramas tempo-frequência de cada banda. Considerando a Tabela 9 verifica-se que todos as regiões apresentam um faixa de frequência com maiores valores de DP semelhante para banda Super Gama e uma faixa igual para a banda Gama, o

que indica que a dispersão do PPN nestas bandas são semelhantes para as cinco regiões, porém quando analisa-se a banda Clínica observa-se que a dispersão do PPN varia para cada região.

Tabela 9 - Faixas de frequências que obtiveram maior DP quando analisado a matriz de mediana de forma contínua por região cerebral.

Faixas de Frequência com Maior Desvio Padrão de PPN Por Banda			
Região Cerebral	Clínica	Gama	Super Gama
Frontal	1,2 - 3,6 Hz	31,2 - 33,6 Hz	80,4 - 85,2 Hz
Central	1,2 - 2,4 e 9, 6 Hz	31,2 - 33,6 Hz	80,4 - 82,8 Hz
Temporal	1,2 e 9,6 - 10,8 Hz	31,2 - 33,6 Hz	80,4 - 84,0 Hz
Parietal	1,2 - 2,4 e 9,6 - 10,8 Hz	31,2 - 33,6 Hz	80,4 - 84,0 Hz
Occipital	8,4 - 12,0 Hz	31,2 - 33,6 Hz	80,4 - 82,8 Hz

2.4. Discussão

A partir da análise dos resultados obtidos percebe-se que, de uma maneira geral, quando comparada os eventos OF x MU existe uma diferença estatisticamente significativa, principalmente para os ritmos mais rápidos. Isto indica uma forte resposta cerebral à estimulação musical. Um dos motivos para esta resposta pode ter sido a música ser desconhecida pela população, conforme evidencia o estudo realizado por Kumagai, Arvaneh e Tanaka (2017) que sugere que o córtex cerebral responde com maior intensidade a música não familiares ou desconhecidas. No trabalho apresentado por Kumagai, Arvaneh e Tanaka (2017), é comparada a resposta do córtex cerebral a ritmos familiares, não familiares e embaralhados e observa-se que a menor resposta do córtex ocorre na música familiar e a mais forte na música desconhecida. Assim, sugerindo que o ser humano percebe com maior facilidade tons desviantes entre uma sequência de tons familiares.

Além do mais, quando se analisa a banda clínica (1 a 30 Hz) observa-se que os ritmos mais rápidos, Alfa e Beta, são mais significativos para estudar a estimulação musical, Wang et al. (2016) também notou que quando se analisa esta mesma faixa de frequência, utilizando mínimos quadrados parciais multilíneares, a atividade cerebral relevante para a música apareceu com maior

possibilidade em ritmos de frequência mais altas, embora a potência dos ritmos de baixa frequência dominassem a EEG em curso no campo de eletrodos.

Ainda quando analisa-se a banda clínica observa-se que os resultados de Verrusio et al. (2015) possuem algumas semelhanças com os resultados do presente trabalho, uma vez que este analisou os ritmos Delta, Teta, Alfa e Beta, utilizando dois tipos de estimulação musical, Mozart K448 ou "Für Elise" de Beethoven. Em seu estudo, ele explorou se existia diferença na potência do sinal antes da estimulação e após a estimulação musical, condição semelhante a OF e PM, encontrando diferença significativa para o ritmo Alfa mediante comparação do sinal de EEG obtido após a estimulação musical realizada com Mozart com o sinal obtido antes da estimulação. Também se observou neste trabalho um aumento da potência do ritmo Alfa após a estimulação com Mozart, no presente estudo dos 10 eletrodos analisados sete possuem a potência de PM de Alfa maior do que em OF, porém apenas três eletrodos obtiveram diferença significativa na comparação OF x PM.

Para os outros ritmos, no estudo de Verrusio et al. (2015), em ambas as músicas, as diferenças entre a potência do sinal antes e depois da estimulação não foram significativas incluído o ritmo Alfa para a música de Beethoven. Quando se compara tais resultados com os encontrados neste trabalho, observa-se que o ritmo Delta foi o único ritmo que obteve para mais da metade dos eletrodos diferença significativa na comparação OF x PM, como pode ser observado na Tabela 3. Sendo assim, em consonância com o resultado encontrado por Verrusio et al. (2015) de maneira geral a Banda Clínica não possui diferença significativa em OF x PM.

Além disso, o ritmo Alfa apresentou uma diferença significativa quando se comparou OF x MU, porém nas comparações OF x PM e MU x PM não houve uma quantidade significativa de p-valores menores que 0,05 como pode ser visto na Tabela 5. Observa-se, ainda, que os valores do PPN do ritmo Alfa aumentaram para todos os eletrodos analisados durante a estimulação musical. No estudo realizado por Kay et al. (2012) resultados semelhantes foram obtidos, uma vez que este observou um aumento da amplitude do ritmo Alfa quando se comparava um grupo sob estimulação musical com um grupo de controle, onde não havia estimulação, sendo o aumento da amplitude do ritmo Alfa explicado

pelas interações entre o tálamo e o córtex Occipital sob a influência do sistema de ativação reticular.

Ainda quando se trata do ritmo Alfa, Banerjee et al. (2016) observou que nos eletrodos F3 e F4 presentes no lobo frontal, quando analisada a Dimensão Fractal, ocorrem diferenças significativas nas EEG com estimulação musical para esse ritmo. Neste estudo foram analisados os estados antes, durante e depois da estimulação musical de duas músicas indianas distintas uma considerada feliz e outra triste, durante ambas as estimulações houve um aumento no valor médio da dimensão fractal quando comparadas com o período antes da estimulação e durante a estimulação e percebeu-se também que após a estimulação esse valor voltava a diminuir, comportamento semelhante ocorreu nos eletrodos F3 e F4 para média do PPN, porém F3 não apresentou diferença significativa nas comparações OF x MU e OF x PM e F4 na comparação OF x PM. Além do ritmo Alfa, Banerjee et al. (2016) fez essas mesmas análises para o ritmo Teta e Gama e não encontrou diferenças significativas para estes. No presente trabalho o ritmo Teta, disponível na Tabela 4, foi o ritmo com menor quantidade de diferença significativa em todas as comparações, porém o ritmo Gama apresentou diferenças significativas em todas as comparações, como pode ser visto na Tabela 7.

O estudo realizado por Maity et al. (2015) explorou a influência de um estímulo acústico simples, um drone tampura, livre de qualquer conteúdo semântico, nos ritmos Teta e Alfa para os eletrodos frontais. Este utilizou a análise multifractal de flutuação detectada e observou um aumento no espectro dos ritmos Teta e Alfa em todos os eletrodos frontais durante a estimulação. Neste trabalho, para os eletrodos frontais analisados, F3 e F4, apenas no eletrodo F4 houve uma diminuição do valor do PPN para o ritmo Teta durante a evento MU.

Assim como o ritmo Alfa, o ritmo Beta apresentou uma diferença significativa para a comparação OF x MU, como pode ser observado pela Tabela 6, apenas o eletrodo F4 não foi significativamente diferente nesta comparação. Em relação às comparações OF x PM e MU x PM os resultados não foram tão significativos. Durante a estimulação musical, evento MU, os valores do PPN aumentaram em comparação a OF, resultados diferentes foram encontrados por

Kay et al. (2012) onde o ritmo beta obteve uma diminuição em sua amplitude quando comparados um grupo sob estimulação e um grupo de controle, tal resultado foi justificado pela música ser familiar e pela presença de ruídos ocasionados pelo aparelho de ressonância magnética. No caso do presente trabalho, a música não é familiar e não houve interferência significativa de ruído adquirido.

Já os resultados encontrados pelo estudo realizado por Nakamura et al. (1999), foram semelhantes com o deste trabalho, uma vez que este observou um aumento significativo do ritmo Beta na porção posterior do córtex cerebral durante a estimulação musical quando comparado com situação repouso, o estímulo utilizado por Nakamura et al. (1999) foi uma música tradicional de Gamelão da Indonésia.

Wang et al. (2016) utilizou espectrogramas para representar a potência da EEG contínua na faixa de frequências de 1 a 30 Hz para as regiões frontal, central, occipital e parietal representadas pelos eletrodos Fz, Cz, Oz e Pz respectivamente. Analisando as imagens destes espectrogramas observa-se que os mesmos são semelhantes aos mapas de calor obtidos neste trabalho. E que assim como nas imagens dos mapas de calor da Banda Clínica a maior energia da EEG está concentrada abaixo de 5 Hz. Além de que na região parietal existe uma forte contribuição de potência em torno dos 10 Hz, ritmo Alfa, o que também ocorre para as imagens aqui apresentadas para esta região, como pode ser visto na Figura 13 e Figura 14.

Além do mais, levando em consideração todos os seis ritmos analisados (Delta, Teta, Alfa, Beta, Gama e Super Gama) distribuídos em três bandas de frequência para a visualização dos mapas de calor, tem-se que as bandas relacionados às altas frequências (banda Gama e Super Gama) foram as que melhor apresentaram resultados na distinção do estímulo musical.

Por fim, conclui-se que, quando a música é desconhecida por meio do sinal de EEG é possível a partir da análise das bandas Gama e Super Gama diferenciar o comportamento do cérebro antes da estimulação musical, durante e após. Observa-se ainda, que esse comportamento é inerente de todo o córtex cerebral. Porém tais conclusões não foram subsidiadas pela literatura, não sendo encontrados quaisquer estudos semelhantes envolvendo o ritmo Gama e

o ritmo Super Gama em análise espectral de sinais de EEG para um estímulo musical com voluntários neurologicamente normais.

3. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos da análise da mediana dos 42 voluntários processados antes aqui expostos percebe-se que o estímulo musical ocasiona mudanças no comportamento da atividade elétrica cerebral e que este influência no comportamento do sinal eletroencefalográfico mesmo após a cessação do estímulo, como foi possível visualizar tanto pelo os diagramas tempo-frequência dos eletrodos selecionados quanto pela análise estatística realizada.

Durante a estimulação musical, de uma maneira geral, observou-se um aumento da potência do sinal quando se compara este momento, com o sinal antes da estimulação. Para a grande maioria dos eletrodos e ritmos foi possível verificar que a μ do PPN é maior durante o estímulo. Além do mais, o único ritmo que foge à regra da maioria dos eletrodos com μ do PPN maior durante MU do que OF é o ritmo Delta, onde seis dos dez eletrodos escolhidos apresentaram μ do PPN maior no evento OF do que no evento MU, sendo os eletrodos F4, T5, T6, P3, P4 e O1. Por fim, apenas mais dois ritmos possuem eletrodos onde a μ do PPN em OF é maior do que em MU sendo estas: o ritmo Teta nos eletrodos F4, T5 e P4 e o ritmo Supergama para o eletrodo F3.

Em relação à potência do sinal após a estimulação observa-se que a μ do PPN é no geral maior durante a evento MU do que em PM. Com exceções no ritmo Delta para os eletrodos F4 e T5, no ritmo Teta para os eletrodos F3, T5 e O1 e nos ritmos Gama e Supergama para os eletrodos T5 e P3. Porém o comportamento desta em relação a situação OF não possui um comportamento geral, variando em relação ao ritmo e ao eletrodo. Verifica-se ainda que no eletrodo C4 as μ dos seis ritmos foram menores em OF do que em PM e que o oposto ocorre para o eletrodo O2. Já para os eletrodos T5, T6, P3 e O1 apenas o ritmo delta possui μ do PPN menor em OF do que em PM e para o eletrodo F4 apenas o ritmo Teta possui μ do PPN maior em OF do que em PM. No eletrodo F3 os ritmos Teta, Gama e Supergama possuem μ do PPN maior em PM do que em OF. Já o eletrodo P4 apenas os ritmos Beta e Alfa possuem μ do PPN maior em PM do que em OF. Por último o eletrodo C3 onde apenas os ritmos Delta e Teta possuem μ de PPN maior em OF do que em PM.

Quando se analisa os resultados obtidos pelo teste de *Wilcoxon* é possível concluir que os ritmos Gama e Supergama são os que mais variaram entre uma

evento e outro, sendo que, para cada eletrodo foram realizadas três comparações por ritmo, como foram analisados 10 eletrodos, ao todo são realizadas 30 comparações por ritmo, destas comparações realizadas no ritmo Gama 27 foram consideradas estatisticamente diferentes, ou seja, obtiveram $p < 0,05$ e para o ritmo Supergama foram 26 comparações. O que está diretamente relacionado com a diferença visual entre os eventos nestas bandas, como foi possível visualizar nas imagens dos diagramas tempo-frequência.

O ritmo com menor quantidade de diferenças entre um evento e outra foi o ritmo Teta, com apenas 9 comparações estatisticamente diferentes, seguida do ritmo Delta com 15, Alfa com 18 e Beta com 19. Apesar do ritmo Beta ser o terceiro ritmo com maior quantidade de comparações estatisticamente diferentes, a potência desse possui baixa amplitude quando comparada com as outras potências da Banda Clínica, o que justifica a dificuldade de visualizar diferenças neste ritmo quando se analisa os diagramas tempo-frequência.

Ao se avaliar a resposta da atividade elétrica cerebral ao estímulo das diferentes regiões cerebrais, pelos resultados obtidos é possível concluir que todas as regiões sofrem uma certa variação com a estimulação musical, porém algumas em maior intensidade. A região que houve maior variação do PPN entre um evento e outra foi a Central, sendo que o eletrodo C3 obteve 13 comparações consideradas estatisticamente diferentes e o C4 obteve 14, ressaltando que por eletrodo foram realizadas 18 comparações estatísticas pelo teste de *Wilcoxon*, o que também está diretamente relacionado com a facilidade de visualizar diferenças nos diagramas destes eletrodos presentes na Figura 9 e na Figura 10, respectivamente C3 e C4. O eletrodo C4 e F3 são os eletrodos com maior quantidade de comparações estatisticamente diferentes, ambos com 14.

A região que menos variou com a estimulação musical foi a Occipital, sendo que o eletrodo O1 obteve apenas 9 diferenças e o O2 apenas 8, justificando a pouca variação visual entre um evento e outra nos diagramas tempo-frequência destes eletrodos, as quais estão presentes na Figura 15 e na Figura 16, respectivamente O1 e O2. O outro eletrodo que apresentou apenas 9 diferenças foi o F4 e estes são dentre os eletrodos selecionados os com menor quantidade de diferenças estatísticas. Os eletrodos da região Temporal

obtiveram 11 diferenças em T5 e 13 em T6, e da região Parietal obtiveram 12 em P3 e 11 em P4.

Isto posto, é possível concluir que a análise visual de diagramas tempo-frequência está de acordo com os resultados obtidos pela análise estatística, sendo que os ritmos em que o Teste de *Wilcoxon* obtiveram uma maior quantidade de diferença estatística foram os ritmos que mais variaram a intensidade da coloração por eventos nos diagramas apresentados neste trabalho, o mesmo ocorre com os eletrodos com maior quantidade de variação.

Além disso, por meio dos resultados chega-se à conclusão que a estimulação musical com uma música desconhecida da população, como é o caso do Hino do Japão para esta população estudada, influencia na atividade elétrica cerebral, modificando o comportamento da potência do sinal, como foi percebido a partir dos resultados obtidos para o quantificador PPN e que o comportamento desta potência após o finalização da música é diferente de antes e durante a estimulação, sendo que quando se analisa as 60 comparações realizadas entre OF x MU, 43 são consideradas estaticamente diferentes, sendo 35 entre OF x PM e 36 ente MU x PM.

Conclui-se também que para a situação estudada neste trabalho, o ritmo Gama e Supergama, possui melhor distinção das diferentes eventos, quando comparado com os outros ritmos e que de maneira geral, principalmente para os ritmos mais rápidos, o valor médio do PPN para a evento MU foi maior que a evento OF e esse valor volta a decair gradualmente após o término do estímulo, como pode ser visto na evento PM dos mapas de calor

Além do mais, a análise visual possibilitou verificar o comportamento de todos os ritmos presentes entre a faixa de frequência analisada, a qual foi de 1 a 100 Hz, possibilitando observar as faixas de frequências com maior potência e comportamento de cada ritmo frente à uma estimulação musical e esta análise evidenciou as diferenças na potência do ritmo Gama entre as diferentes faixas de frequência presente neste, oportunizando concluir que este ritmo possui baixa energia entre a faixa aproximada de 30 a 48 Hz e que sua maior contribuição de potência é nas frequências entre 48 Hz a aproximadamente 68,4 Hz e que as frequências acima desta faixa possui também uma energia menor.

3.1. Sugestões Para Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros sugere-se utilizar alguma ferramenta, como a correlação cruzada, um vez que esta fornece o grau de similitude entre o estímulo musical e a EEG, para estudar o quanto esta variação da potência do sinal verificada na EEG se deve ao Hino do Japão para posteriormente correlacionar qual a área do córtex ativada, considerando a emoção sentida e relatada pelo voluntário, buscando verificar ainda quais as regiões associadas ao ritmo, tom e frequência do estímulo utilizado de tal forma a mapear qual o hemisfério cerebral é mais ativo nesse processamento

É interessante notar, que tais conhecimentos apresentam potenciais em tratamentos com musicoterapia em pacientes em coma ou com alguma doença neurológica, como Alzheimer e epilepsia, ou até mesmo como um tratamento paliativo em pessoas com doenças degenerativas.

4. REFERÊNCIAS

BAJOULVAND, A. et al. Analysis of folk music preference of people from different ethnic groups using kernel-based methods on EEG signals. **Applied Mathematics and Computation**, v. 307, p. 62–70, 2017.

BALASUBRAMANIAN, G. et al. Music induced emotion using wavelet packet decomposition—An EEG study. **Biomedical Signal Processing and Control**, v. 42, p. 115–128, 2018.

BANERJEE, A. et al. Study on Brain Dynamics by Non Linear Analysis of Music Induced EEG Signals. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 444, p. 110–120, 2016.

BAUER, A. K. R.; KREUTZ, G.; HERRMANN, C. S. Individual musical tempo preference correlates with EEG beta rhythm. **Psychophysiology**, v. 52, n. 4, p. 600–604, 2015.

BHATTI, A. M. et al. Human emotion recognition and analysis in response to audio music using brain signals. **Computers in Human Behavior**, v. 65, p. 267–275, 2016.

BUZSÁKI, G. **Rhythms of the Brain**. 1st. ed. New York: Oxford University Press, 2006.

CALABRÒ, R. S. et al. Neural correlates of consciousness: what we know and what we have to learn! **Neurological Sciences**, v. 36, n. 4, p. 505–513, 2015.

CLARK, C. N.; DOWNEY, L. E.; WARREN, J. D. Music biology: All this useful beauty. **Current Biology**, v. 24, n. 6, p. R234–R237, 2014.

ENGEL, J. J.; SILVA, F. L. HIGH-FREQUENCY OSCILLATIONS – WHERE WE ARE AND WHERE WE NEED TO GO. v. 98, n. 3, p. 316–318, 2012.

FREEMAN, W. J.; QUIROGA, R. Q. **Imaging Brain Function With EEG**. New York: Springer, 2013.

GOMES, P.; PEREIRA, T.; CONDE, J. Musical emotions in the brain-a neurophysiological study . v. 1, n. 1, 2017.

GÓMEZ GALLEGÓ, M.; GÓMEZ GARCÍA, J. Music therapy and Alzheimer's disease: Cognitive, psychological, and behavioural effects. **Neurología (English Edition)**, v. 32, n. 5, p. 300–308, 2017.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 11th. ed. Rio

de Janeiro: Elsevier, 2006.

HERRMANN, C. S. et al. EEG oscillations: From correlation to causality. **International Journal of Psychophysiology**, v. 103, p. 12–21, 2016.

JASPER, H. H. Report of the committee on methods of clinical examination in electroencephalography. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology Supplement**, v. 10, n. 2, p. 370–375, 1958.

KAY, B. P. et al. Moderating effects of music on resting state networks. **Brain Research**, v. 1447, p. 53–64, 2012.

KHOSROWABADI, R.; RAHMAN, A. W. B. A. Classification of EEG correlates on emotion using features from Gaussian mixtures of EEG spectrogram. **Proceeding of the 3rd International Conference on Information and Communication Technology for the Moslem World: ICT Connecting Cultures, ICT4M 2010**, 2010.

KUCEWICZ, M. T. et al. Dissecting gamma frequency activity during human memory processing. **Brain**, v. 140, n. 5, p. 1337–1350, 2017.

KUMAGAI, Y.; ARVANEH, M.; TANAKA, T. Familiarity Affects Entrainment of EEG in Music Listening. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 11, n. July, p. 1–8, 2017.

LIN, L.-C.; YANG, R.-C. Mozart's music in children with epilepsy. **Translational pediatrics**, v. 4, n. 4, p. 323–6, 2015.

LIN, Y. P. et al. EEG-based emotion recognition in music listening. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 57, n. 7, p. 1798–1806, 2010.

MAGUIRE, M. J. Music and epilepsy: A critical review. **Epilepsia**, v. 53, n. 6, p. 947–961, 2012.

MAITY, A. K. et al. Multifractal Detrended Fluctuation Analysis of alpha and theta EEG rhythms with musical stimuli. **Chaos, Solitons and Fractals**, v. 81, p. 52–67, 2015.

MASLENNIKOVA, A. V.; VARLAMOV, A. A.; STRELETS, V. B. Characteristics of Evoked Changes in EEG Spectral Power and Evoked Potentials on Perception of Musical Harmonies in Musicians and Nonmusicians. **Neuroscience and Behavioral Physiology**, v. 45, n. 1, p. 78–83, 2015.

NAKAMURA, S. et al. Analysis of music-brain interaction with simultaneous measurement of regional cerebral blood flow and

electroencephalogram beta rhythm in human subjects. **Neuroscience Letters**, v. 275, n. 3, p. 222–226, 1999.

RAMIREZ, R. et al. EEG-based analysis of the emotional effect of music therapy on palliative care cancer patients. **Frontiers in Psychology**, v. 9, n. MAR, p. 1–7, 2018.

RAMOS, C. D. Caracterização do eletroencefalograma normal em situação de vigília: elaboração da base de dados e análise quantitativa. p. 156, 2017.

SCHAEFER, R. S.; DESAIN, P.; FARQUHAR, J. Shared processing of perception and imagery of music in decomposed EEG. **NeuroImage**, v. 70, p. 317–326, 2013.

SCHOMER, D. L.; SILVA, F. H. L. **Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields**. 6th. ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2011.

SÖRNMO, L.; LAGUNA, P. **Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications**. 1st. ed. [s.l.] Elsevier, 2005.

STOBER, S. et al. Towards Music Imagery Information Retrieval: Introducing the OpenMIIR Dataset of EEG Recordings from Music Perception and Imagination. **16th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR'15)**, p. 763–769, 2015.

TELENCZUK, B. et al. High-frequency EEG covaries with spike burst patterns detected in cortical neurons. **Journal of neurophysiology**, v. 105, n. 6, p. 2951–2959, 2011.

THAUT, M. H.; VOLKER, H. **Handbook of Neurologic Music Therapy**. [s.l.: s.n.].

VERRUSIO, W. et al. The Mozart Effect: A quantitative EEG study. **Consciousness and Cognition**, v. 35, p. 150–155, 2015.

WANG, D. et al. Exploiting Ongoing EEG With Multilinear Partial Least Squares During Free-Listening To Music. **IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON MACHINE LEARNING FOR SIGNAL PROCESSING**, p. 1–6, 2016.

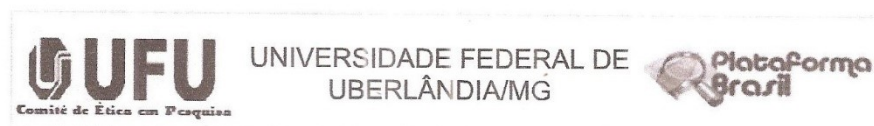
ZHANG, L. et al. Improving mental task classification by adding high frequency band information. **Journal of Medical Systems**, v. 34, n. 1, p. 51–60, 2010.

ZHANG, L. et al. Electrophysiological evidences demonstrating differences in brain functions between nonmusicians and musicians. **Scientific Reports**, v. 5, n. August, p. 1–14, 2015.

ANEXO A

Parecer Consubstanciado Liberado pelo CEP - UFU

Neste anexo estão a primeira e última páginas do parecer consubstanciado liberado pelo CEP – UFU.



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Caracterização do ruído associado à eletroencefalografia (EEG) realizado em Unidade de Terapia Intensiva (UTI)

Pesquisador: João Batista Destro Filho

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 54781615.6.0000.5152

Instituição Proponente: Faculdade de Engenharia Elétrica

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.715.960

Apresentação do Projeto:

Conforme apresenta o protocolo: Este projeto visa investigar as características estatísticas do ruído artificial que perturba o exame em eletroencefalografia (EEG) no intuito de definir um padrão de ruído no ambiente de UTI Adulto do Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (HCU-UFU) e elaborar um banco de dados EEG normal, considerando explicitamente a técnica de Oscilações de Alta Frequência (OAF) na faixa 0 – 120 Hz. A eletroencefalografia (EEG) consiste num exame bastante coerente com a realidade SUS, devido ao fato de ser não-invasivo, barato, simples e sem contra-indicações para qualquer tipo de paciente. Embora este exame permite o monitoramento em tempo real do estado neurológico do paciente, todavia não consegue apresentar uma boa resolução espacial e também é fortemente perturbado por ruído. Os pesquisadores justificam a proposta argumentando que a falta de estudos orientados a utilização de EEG em alta frequência e, a escassez de monitorização contínua em ambientes da UTI no Brasil. A realização deste projeto deve melhorar a qualidade dos diagnósticos de morte encefálica e fundamentar o alicerce para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento EEG contínuo, assim como, evitar o deslocamento arriscado de um paciente neurologicamente crítico da UTIA/HCU para o ambiente sem ruído SEM/HCU. Para realizar a pesquisa, os próprios membros da equipe executora, assim como, como 100 indivíduos voluntários, saudáveis entre 18 – 60 anos,

Endereço: Av. João Neves de Ávila 2121- Bloco "1A", sala 224 - Campus Sta. Mônica
Bairro: Santa Mônica **CEP:** 38.408-144
UF: MG **Município:** UBERLÂNDIA
Telefone: (34)3239-4131 **Fax:** (34)3239-4335 **E-mail:** cep@propp.ufu.br



Continuação do Parecer: 1.715.960

projetos do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma, junto com o parecer aprobatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial (Res.251/97, item III.2.e).

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_603198.pdf	23/06/2016 22:53:47		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Final_submissao_v3_2016.pdf	23/06/2016 22:49:27	Carnila Davi Ramos	Aceito
Outros	ROTEIRO_ENTREVISTA.pdf	23/06/2016 22:47:21	Carnila Davi Ramos	Aceito
Outros	RESPOSTA_PARECER.pdf	23/06/2016 22:42:07	Carnila Davi Ramos	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Declaracao_Instituicao_Co_Participante_HCUFU_ATUAL.pdf	23/06/2016 22:33:58	Carnila Davi Ramos	Aceito
Outros	Instrumento_de_coleta.pdf	23/06/2016 22:33:16	Carnila Davi Ramos	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_v3_2016.pdf	23/06/2016 22:32:18	Carnila Davi Ramos	Aceito
Cronograma	CRONOGRAMA_v2_2016.pdf	04/04/2016 08:56:23	Carnila Davi Ramos	Aceito
Folha de Rosto	FOLHA_ROSTO_CARIMBADA.pdf	31/03/2016 11:52:48	Carnila Davi Ramos	Aceito
Declaração de Pesquisadores	TERMO_COMPROMISSO.pdf	25/02/2016 08:48:31	Carnila Davi Ramos	Aceito
Outros	Lattes_equipe.pdf	25/02/2016 07:33:06	Carnila Davi Ramos	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Carta_ao_Dr_Miguel.pdf	16/10/2015 02:27:49	Carnila Davi Ramos	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Declaracao_Inst_Part_FEELT.pdf	10/10/2015 12:53:13	Carnila Davi Ramos	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Avaliação da CONEP:

Endereço: Av. João Naves de Ávila 2121- Bloco "1A", sala 224 - Campus Sta. Mônica
 Bairro: Santa Mônica CEP: 38.408-144
 UF: MG Município: UBERLÂNDIA
 Telefone: (34)3239-4131 Fax: (34)3239-4335 E-mail: cep@propp.ufu.br

[Assinatura]
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Comitê de Ética em Pesquisa
 Prof.ª Dr.ª Sandra Teresinha do Fátima Furquim
 Coordenadora

Página 05 de 06