

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

ARIANNE VIANA ALVES DA SILVA

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO SINAL EEG MEDIDO EM PACIENTE  
COMATOSO: COMPARATIVO ENTRE SILÊNCIO E ESTÍMULO MUSICAL

Uberlândia

2025

ARIANNE VIANA ALVES DA SILVA

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO SINAL EEG MEDIDO EM PACIENTE  
COMATOSO: COMPARATIVO ENTRE SILENCIO E ESTÍMULO MUSICAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Uberlândia como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Biomédica.

Área de concentração: Processamento Digital  
de Sinais Biomédicos

Orientador: Prof. Dr. João Batista Destro Filho

Coorientadora: Prof(a). Dr(a). Camila Davi  
Ramos

Uberlândia

2025

ARIANNE VIANA ALVES DA SILVA

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO SINAL EEG MEDIDO EM PACIENTE  
COMATOSO: COMPARATIVO ENTRE SILÊNCIO E ESTÍMULO MUSICAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Uberlândia como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Biomédica.

Área de concentração: Processamento Digital  
de Sinais Biomédicos

Orientador: Prof. Dr. João Batista Destro Filho

Coorientadora: Prof(a). Dr(a). Camila Davi  
Ramos

Uberlândia, 14 de abril de 2025

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. João Batista Destro Filho – UFU

---

Prof(a). Dr(a). Camila Davi Ramos – UFU

---

Prof. Dr. Ederson Rosa da Silva – UFU

---

Prof. Dr. Eduardo Jorge Custódio da Silva – UERJ

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU com dados  
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586	Silva, Arianne Viana Alves da, 1996-
2025	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO SINAL EEG MEDIDO EM PACIENTE COMATOSO: COMPARATIVO ENTRE SILÊNCIO E ESTÍMULO MUSICAL [recurso eletrônico] / Arianne Viana Alves da Silva. – 2025.
	Orientador: João Batista Destro Filho . Coorientador: Camila Davi Ramos. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia Biomédica. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia.
	1. Engenharia biomédica. I. , João Batista Destro Filho,1970-, (Orient.). II. Ramos, Camila Davi ,1991- (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Engenharia Biomédica. IV. Título.
	CDU: 62:61

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

À Deus, toda Honra e Glória.

## AGRADECIMENTOS

Minha maior gratidão aos meus pais, Euvi e Marco, que embarcaram comigo nessa jornada e, mesmo de longe, não mediram esforços para me lembrar todos os dias de que minha hora era agora e minha estrela, o amor deles. Obrigada por me cobrirem de orações e por tornarem minha rede de apoio forte o suficiente para que eu me sentisse segura. Vocês são a prova da fidelidade de Deus e minha saudade diária. E, aos meus irmãos, Alanna e Arthur, obrigada por serem meus melhores amigos e minha risada mais sincera.

À minha avó, Maria Rosa, que, mesmo sem lembrar, ainda preenche de carinho ao orar todos os dias.

Agradeço aos meus tios, Eula e Cleverton, por acreditarem em mim desde que eu era apenas um pingo.

À minha irmã Cristiane (in memoriam), que levou uma parte considerável de mim e gostava de dizer que cada pessoa é única, deixando um pouco de si e levando um pouquinho de nós. Certamente, ao longo desses anos, muitas pessoas deixaram suas marcas nesses encontros, e a elas também dedico este trabalho.

A quem sempre esteve comigo: Maressa, obrigada por ser minha amiga, independentemente de qualquer circunstância. Thaillynne e Fernanda, que tornaram Pernambuco um lar, formando meu suporte e abrigo.

Quem primeiro estendeu a mão em Uberlândia, Isadora Bernardes, que criou um laço de confiança fraterno e me mostrou o que é ser gentil sem pedir nada em troca.

Aos meus amigos de turma, sorte a minha ter encontrado pessoas com quem pude compartilhar tantos momentos bons durante a graduação. Especialmente às “VILMA”: Vitória, Isabela, Letícia, Melyssa e Maria Clara, que tornaram a vida mais leve, mostrando que diferentes personalidades podem se complementar.

Ao meu amigo Arthur B., que me socorreu tantas vezes, até quando estava em outro país. Obrigada por ter sido minha família em Minas.

Aos meus professores e professoras, que fundamentaram todo o meu conhecimento ao longo da minha vida em São Luís, Aracaju e Recife. A todos que me ajudaram com livros, tirando dúvidas ou simplesmente passando confiança, minha eterna gratidão. Em especial, à professora Ana Paula Tremura, a primeira professora acadêmica que me deu a mão e disse que eu era capaz, transformando o terror de Cálculo I e mostrando o que é ser educadora.

Ao meu orientador, João Batista Destro Filho, que me deu espaço na pesquisa desde o início da graduação, guiando a realização deste trabalho. À minha orientadora, Camila Davi

Ramos, que me acolheu e aconselhou, não apenas pelo auxílio e apoio neste trabalho, que não teria sido possível sem ela, mas também por compartilhar tantos conhecimentos.

À Unidade de Terapia Intensiva do Hospital de Clínicas da UFU (UTI do HC-UFU), pela disponibilidade para o registro dos dados de EEG e a todos os profissionais envolvidos nas coletas, em especial às famílias que aceitaram participar do processo. Aos neurologistas do setor de Neurofisiologia da HC-UFU, Dr. Paulo e Dr. Marcos, que auxiliaram no processo de separação de épocas para que a análise deste trabalho fosse possível. Ao grupo de pesquisa, Marina, Márcia, Henrique, Natalia, Eduarda, Maria Eduarda e minha parceira de Iniciação Científica, com quem tive a honra de caminhar juntas: Maria Clara.

Por fim, à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), que foi minha segunda casa, me deu a oportunidade de ingressar no curso que escolhi e me proporcionou tantas experiências ao longo desses anos.

Depois de tantas idas e vindas, dividida para lá e para cá, assim como Elba Ramalho cantou: “Estou de volta para o meu aconchego, trazendo na mala bastante saudade.” Apesar de não saber quais caminhos o futuro reserva, posso dizer que, nessa bagagem, há muito conhecimento. E agora, só quero aliviar o cansaço junto dos meus, como se ter ido fosse necessário para voltar.

“E quero aceitar minha liberdade sem pensar o  
que muitos acham: que existir é coisa de  
doido, caso de loucura. Porque parece. Existir  
não é lógico.”

(Lispector, 1998, p. 20)

## RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar quantitativamente os sinais de Eletroencefalografia (EEG) de pacientes comatosos submetidos à estimulação nos momentos de silêncio e de estimulação musical. A amostra foi composta por 21 indivíduos internados na Unidade de Terapia Intensiva (UTI) do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (HCU-UFU). Os sinais de EEG foram utilizados para calcular dois quantificadores: Porcentagem de Contribuição de Potência (PCP) e Coerência. Os resultados indicaram que a estimulação musical resultou em aumento da PCP para os ritmos Beta e Gama, com maior concentração nas regiões temporal e parietal. No que se refere aos valores de Coerência, notou-se maior variação da mediana no ritmo Delta, especialmente nos pares de eletrodos F7–F8 e P3–P4, que mostraram maior sensibilidade ao estímulo musical, apresentando as maiores variações percentuais. O cálculo da Variação Percentual (VAP) revelou que a maioria dos eletrodos ficou concentrada em faixas intermediárias de variação percentual, com ambos os quantificadores apresentando variações em torno de 20%. Em termos gerais, os resultados sugerem que a estimulação musical exerce influência sobre a atividade cerebral, particularmente nas frequências altas (Gama e Super Gama).

**Palavras-chave:** estimulação musical; coma; eletroencefalografia; unidade de terapia intensiva.

## ABSTRACT

This study aims to quantitatively analyze the Electroencephalography (EEG) signals of comatose patients subjected to stimulation during silence and musical stimulation periods. The sample consisted of 21 individuals hospitalized in the Intensive Care Unit (ICU) of the Hospital das Clínicas at the Federal University of Uberlândia (HCU-UFU). The EEG signals were used to calculate two quantifiers: Power Contribution Percentage (PCP) and Coherence. The results indicated that musical stimulation led to an increase in PCP for Beta and Gamma rhythms, with higher concentration in the temporal and parietal regions. Regarding Coherence values, the greatest median variation was observed in the Delta rhythm, particularly in the F7-F8 and P3-P4 electrode pairs, which showed greater sensitivity to musical stimulation, presenting the highest percentage variations. The calculation of Percentual Variation (VAP) revealed that most electrodes were concentrated in intermediate ranges of percentual variation, with both quantifiers showing variations around 20%. Overall, the results suggest that musical stimulation influences brain activity, particularly in high frequencies (Gamma and Super Gamma).

**Keywords:** musical stimulation; coma; electroencephalography; intensive care units.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Imagen 1 – Protocolo de estimulação para coleta e processamento dos dados.....	28
Imagen 2 – Topografias cerebrais no momento silêncio para valores de PCP.....	34
Imagen 3 – Topografias cerebrais no momento música para valores de PCP.....	34
Imagen 4 – Histograma de VAP considerando apenas regiões cujo p-valor < 0,05 para PCP.....	37
Imagen 4 – Histograma de VAP considerando apenas regiões cujo p-valor < 0,05 para Coerência.....	40

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Resumo principais artigos.....	23
Tabela 2 – Informações consideradas para realização do estudo. ....	26
Tabela 3 – Valores das Medianas $\pm$ Desvio Padrão de PCP para situação silêncio e música..	35
Tabela 4 – Valores de VAP por ritmo e eletrodos.....	36
Tabela 5 – Valores das Medianas de Coerência para silêncio e música.....	39
Tabela 6 – Valores de VAP obtidos para cada par de eletrodos e ritmo cerebral. ....	40
Tabela 7 – Resumo resultados encontrados.....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVC	Acidente Vascular Cerebral
AVCh	Acidente Vascular Cerebral Hemorrágico
AVEh	Acidente Vascular Encefálico Hemorrágico
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
DOC	Distúrbio de Consciência
EEG	Eletroencefalografia
fMRI	Ressonância Magnética Funcional
GCS	Escala de Coma de Glasgow
HCU	Hospital das Clínicas de Uberlândia
HSA	Hemorragia Subaracnóidea
IFSECN	Comitê Internacional de Sociedades de Eletroencefalografia e Neurofisiologia Clínica
ISS	Injury Severity Score
MMN	Negatividade de mismatch
PCP	Porcentagem de Contribuição de Potência
PDS	Densidade espectral de potência
RASS	Richmond Agitation Sedation Scale
SI	Sistema Internacional
SON	Nome do sujeito
SUS	Sistema Único de Saúde
TCE	Traumatismo Cranioencefálico
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UTI	Unidade de Terapia Intensiva
VAP	Variação Percentual

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.1</b>	<b>Fundamentos do Eletroencefalograma (EEG) e aplicação na clínica.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Avaliação da consciência em pacientes críticos nas Unidades de Terapia Intensivas (UTI).....</b>	<b>16</b>
<b>1.1.3</b>	<b>Musicoterapia como intervenção humanizada .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.3</b>	<b>EEG e à musicoterapia.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>20</b>
<b>1.3</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.1</b>	<b>Geral .....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Específicos .....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Coleta de dados .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Submissão ao comitê de ética .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Critérios para a coleta de dados .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Protocolo de coleta de dados .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Processamento dos dados .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Quantificadores .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.1.1</b>	<b>Porcentagem de Contribuição de Potência (PCP).....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.1.2</b>	<b>Coerência.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Análise Estatística .....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1</b>	<b>Porcentagem de Contribuição de Potência (PCP) .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Discussão PCP .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>Coerência .....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Discussão Coerência .....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO GERAL .....</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>
	<b>ANEXO 1 – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP .....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Em 1784, Luigi Galvani deu início aos estudos sobre a atividade elétrica cortical ao demonstrar a excitabilidade do tecido nervoso, o que motivou investigações subsequentes sobre as propriedades elétricas dos nervos e músculos (Swartz, 1998). Contudo, os dispositivos disponíveis na época ainda não permitiam a captação da atividade cerebral, o que só se tornou viável com o desenvolvimento do galvanômetro capaz de medir microampères (Cobb, 1969). No início do século XX, Richard Caton utilizou esse instrumento para registrar correntes elétricas cerebrais em animais, como macacos e coelhos, revelando importantes descobertas nessa área (Swartz, 1998). Na mesma época, Adolph Beck publicou estudos sobre a atividade cerebral no córtex, descrevendo os padrões de oscilação lenta do cérebro em repouso em coelhos e cães (Millett, 2001).

Entretanto, foi apenas na década de 1920 que ocorreram os primeiros registros da atividade elétrica cerebral humana, realizados pelo neurologista alemão Hans Berger. Sem necessidade de incisões na calota craniana, Berger conseguiu detectar ritmos oscilatórios cerebrais e registrar esses sinais em papel, estabelecendo associações clínicas com distúrbios neurológicos como a epilepsia (Cobb, 1969; Gloor, 1969). Seu trabalho pioneiro lançou as bases para o que hoje é conhecido como Eletroencefalograma (EEG), tornando-se referência essencial nos estudos da neurofisiologia (Freeman & Quiroga, 2012; Sörnmo & Laguna, 2005).

A partir desses marcos históricos e do avanço tecnológico ao longo do tempo, tornou-se possível não apenas registrar a atividade elétrica cerebral com precisão, mas também aplicar esse conhecimento na prática clínica. O desenvolvimento do EEG consolidou-se como uma das ferramentas mais relevantes da neurofisiologia, permitindo a análise funcional do cérebro em tempo real. Assim, o EEG passou a ocupar papel central na avaliação da atividade cortical, viabilizando a investigação de diferentes estados mentais e contribuindo significativamente para o diagnóstico e monitoramento de distúrbios neurológicos em ambientes clínicos.

#### 1.1.1 Fundamentos do Eletroencefalograma (EEG) e aplicação na clínica

O EEG é uma técnica empregada para registrar a atividade elétrica cerebral por meio de eletrodos posicionados no couro cabeludo, captando os potenciais elétricos gerados pela atividade sináptica. Esses sinais apresentam diferentes faixas de frequência, que são classificadas como: Delta (0,5–4 Hz), Teta (4–8 Hz), Alfa (8–13 Hz), Beta (13–30 Hz), e, nas faixas de alta frequência, Gama (30–80 Hz) e Super Gama (> 80 Hz) (Niedermeyer & Silva,

2005). No contexto clínico, os ritmos mais comumente analisados são aqueles com frequências inferiores a 30 Hz, enquanto os de alta frequência são, em geral, mais explorados em pesquisas científicas. A ampla aplicação do EEG se deve, principalmente, à sua elevada resolução temporal e à capacidade de monitorar, em tempo real, os padrões de atividade elétrica cerebral (Sörnmo & Laguna, 2005).

Além disso, o EEG oferece alta densidade de registro, utilizando múltiplos eletrodos que permitem um mapeamento mais preciso da atividade cortical (Michel & Murray, 2012). Para garantir padronização nos registros, adota-se o sistema internacional 10-20, estabelecido pelo Comitê Internacional da Sociedade de Eletroencefalografia e Neurofisiologia Clínica (IFSECN). Esse sistema define o posicionamento dos eletrodos com base em pontos anatômicos de referência, respeitando distâncias proporcionais ao tamanho do crânio: 10% e 20% nas direções longitudinal (do Nálio ao Ínio) e transversal (entre os pontos auriculares direito e esquerdo) (Ebersole & Pedley, 2003). A nomenclatura dos eletrodos segue convenções específicas, sendo representados pelas letras Fp, F, C, P, O e T, correspondentes às regiões pré-frontais, frontais, centrais, parietais, occipitais e temporais, respectivamente, além dos eletrodos da linha média, como Fpz, Fz, Cz, Pz e Oz (Jasper, H. H., 1958).

As medidas obtidas pelo EEG no couro cabeludo refletem diferenças de voltagem geradas pela atividade sináptica síncrona de milhares de neurônios corticais organizados em paralelo. O sinal eletroencefalográfico representa, portanto, a soma dos potenciais pós-sinápticos inibitórios e excitatórios dessas populações neuronais (Guyton & Hall, 2006). Essa tecnologia permite a identificação de diferentes ritmos cerebrais, os quais estão associados a distintos estados mentais e funções cognitivas. Em termos de frequência, o ritmo Delta predomina durante estados de inconsciência; o ritmo Teta está relacionado a estados de relaxamento profundo e pode ser observado em casos severos de Traumatismo Crânioencefálico (TCE); o ritmo Alfa associa-se à vigília tranquila, podendo indicar transição para estados mais ativos; o ritmo Beta está ligado ao processamento ativo de informações; e o ritmo Gama, por sua vez, está relacionado à percepção consciente e ao processamento sensorial (Freeman & Quiroga, 2012; Sörnmo & Laguna, 2005).

Devido à sua alta sensibilidade à disponibilidade energética do cérebro, o EEG é uma ferramenta fundamental no monitoramento de níveis de consciência, especialmente em contextos de hipóxia e isquemia cerebral, sendo essencial para detectar sinais de consciência residual em pacientes aparentemente não responsivos (Amiri et al., 2023). A capacidade do EEG de estratificar níveis de consciência com base em padrões de atividade elétrica cerebral reforça sua relevância na prática clínica, especialmente em Unidades de Terapia Intensiva

(UTIs), onde sua aplicação precoce pode contribuir para a previsão de desfechos clínicos e aumento da precisão prognóstica (Edlow et al., 2021). Além disso, o EEG tem se mostrado útil na investigação e estimulação da recuperação da consciência em pacientes em coma ou com distúrbios de consciência. Estudos como o de Amiri et al. (2023) demonstraram que cerca de 15% dos pacientes considerados clinicamente não responsivos apresentaram padrões de ativação cerebral compatíveis com consciência, durante tarefas de imaginação motora.

Diante da capacidade do EEG de identificar padrões neurais relacionados aos diferentes níveis de consciência, sua aplicação torna-se ainda mais relevante no contexto clínico de pacientes críticos, especialmente em UTIs. Nessas situações, a avaliação da consciência é desafiadora, pois envolve pacientes com alterações neurológicas significativas, muitas vezes em estado de coma ou com distúrbios prolongados da consciência. Assim, torna-se fundamental integrar métodos neurofisiológicos, como o EEG, a escalas clínicas já estabelecidas, a fim de aprimorar o diagnóstico, monitoramento e prognóstico desses pacientes. A seguir, serão abordados os principais conceitos relacionados à consciência e os métodos clínicos utilizados para sua avaliação em ambientes de terapia intensiva.

### **1.1.2 Avaliação da consciência em pacientes críticos nas Unidades de Terapia Intensivas (UTI)**

A consciência pode ser definida como a capacidade de perceber a si mesmo e o ambiente ao redor, adaptando-se continuamente a estímulos externos (Cláudia et al., 2005; Jain; Ramakrishnan, 2020). Pacientes em estado de coma encontram-se em um nível profundo de inconsciência, sem qualquer manifestação de percepção ou interação com o meio, mantendo-se com os olhos fechados (Puggina; Da Silva, 2015). Assim, para que a consciência esteja plenamente preservada, é necessário que as funções cognitivas estejam íntegras e que diferentes regiões cerebrais interajam entre si de forma ativa, em especial com estruturas fundamentais como o tronco cerebral superior, o hipotálamo e o tálamo (Altintop et al., 2023; Plum; Posner, 1982). Além disso, o estado comatoso, de natureza prolongada, é geralmente decorrente de lesões ou distúrbios cerebrais, cujas causas podem ser estruturais, metabólicas, toxicológicas, infecciosas ou, mais comumente, traumáticas, como nos casos de Traumatismo Cranioencefálico (TCE) ou Acidente Vascular Cerebral (AVC) (Karpenko; Keegan, 2021).

Diversos métodos são utilizados para avaliar a gravidade de doenças em pacientes com trauma, sendo comum a determinação anatômica da extensão das lesões por meio do sistema *Injury Severity Score* (ISS). No contexto neurológico, a ferramenta mais amplamente empregada é a Escala de Coma de Glasgow (GCS), um sistema de pontuação que avalia o nível

de consciência e a gravidade do coma em uma escala de 3 a 15 pontos (Schey; Schoch; Kerr, 2024). A GCS oferece uma avaliação objetiva, simples e reproduzível, baseada em três categorias de resposta do paciente: ocular (E), verbal (V) e motora (M) (Brun et al., 2024; Schey; Schoch; Kerr, 2024). A soma dessas respostas permite classificar a gravidade da lesão cerebral como leve (13–15 pontos), moderada (9–12 pontos) ou grave (3–8 pontos), sendo este último intervalo frequentemente considerado por muitos profissionais como indicativo de estado comatoso, especialmente quando GCS  $\leq 8$  (Brun et al., 2024). Apesar de sua ampla aceitação, a GCS pode apresentar limitações, sobretudo quando aplicada por profissionais inexperientes. Nessas situações, a avaliação pode se tornar imprecisa, especialmente em casos de lesão cerebral traumática, comprometendo decisões clínicas e impactando negativamente a gestão hospitalar. Uma classificação incorreta da gravidade da lesão pode levar a diagnósticos equivocados, escolhas terapêuticas inadequadas, aumento nos custos hospitalares e prolongamento do tempo de internação (Altintop et al., 2023; Brun et al., 2024; Schey; Schoch; Kerr, 2024).

Ademais, a permanência prolongada em tratamento intensivo na UTI pode comprometer as funções vitais dos pacientes e acarretar complicações secundárias, como infecções hospitalares e atrofia muscular (Shih et al., 2022). A qualidade do sono também é significativamente afetada por fatores ambientais, como os ruídos constantes de equipamentos à beira-leito (ex. ventiladores mecânicos), procedimentos frequentes da equipe médica, luz intensa e, ainda, pelas condições emocionais adversas, como estresse, dor, desconforto, solidão e preocupação (Alnes et al., 2021). Essa fragmentação do sono prejudica o tratamento, pois compromete o ritmo circadiano, essencial para a recuperação e qualidade de vida (Jun; Kapella; Hershberger, 2021). Um estudo conduzido por Chahraoui et al. (2015) revelou que metade dos pacientes ainda apresentavam distúrbios do sono mesmo após a alta médica. Outro fator agravante diz respeito às intervenções farmacológicas, especialmente em pacientes graves ou submetidos a procedimentos cirúrgicos, já que o uso prolongado de certos medicamentos pode induzir delírios e dependência química (Kakar et al., 2021). Soma-se a isso o fato preocupante de que cerca de 40% dos profissionais de saúde não conseguem identificar corretamente a consciência residual em pacientes comatosos, ou subestimam seu nível de consciência após uma lesão cerebral aguda, o que pode resultar em tratamentos desnecessários e subutilização de estratégias terapêuticas adequadas (Amiri et al., 2023).

Diante das complicações mencionadas, surge a musicoterapia como uma estratégia terapêutica promissora. No próximo tópico, será abordado como essa intervenção não farmacológica pode contribuir para a avaliação do estado de consciência e para a reabilitação

cognitiva de pacientes críticos, promovendo potenciais benefícios para melhora na qualidade de vida dessas pessoas. Dessa forma, além de sua importância no diagnóstico e monitoramento de condições neurológicas, o EEG também se mostra essencial para a compreensão dos estados de consciência em pacientes internados em unidades de terapia intensiva. Nesse contexto, alterações no padrão de sono desses pacientes, frequentemente observadas em UTIs, têm despertado crescente interesse, dada sua relação com a recuperação neurológica e o prognóstico clínico.

### **1.1.3 Musicoterapia como intervenção humanizada**

Com o objetivo de aplicar métodos mais humanizados de reabilitação não farmacológica, a musicoterapia tem se mostrado uma ferramenta eficaz tanto para avaliar o estado de consciência dos pacientes quanto para melhorar a qualidade do sono (Rollnik; Altenmüller, 2014). Desde o século XIX, Florence Nightingale já reconhecia o valor da música em práticas integrativas de cuidado curativo (Chen et al., 2021). No entanto, foi no século XX que a musicoterapia passou a ser aplicada no ambiente hospitalar, visando promover comunicação, aprendizagem, expressão e outros objetivos terapêuticos, atendendo às necessidades físicas e cognitivas dos pacientes, o que contribui para a melhoria da qualidade de vida (Chen et al., 2021). A música, enquanto fenômeno acústico, tem sido estudada pela física, especialmente no que diz respeito ao impacto da frequência e da amplitude do som nas respostas emocionais e autônomas dos indivíduos (Miranda; Hazard; Miranda, 2017). Vários estudos documentaram os efeitos benéficos da música clássica, como as obras de Mozart, Bach e Haydn, na redução da frequência de episódios em pacientes epiléticos (Lin et al., 2010; Miranda; Hazard; Miranda, 2017). Além disso, a música é vista como uma forma de estabelecer contato não verbal, estimulando respostas emocionais e comportamentais e oferecendo potencial para modificar a plasticidade cortical em pacientes com distúrbios de consciência (Grimm; Kreutz, 2021).

Sob essa perspectiva, a musicoterapia apresenta-se como uma intervenção fundamental para a reabilitação de pacientes críticos, cujas regiões cerebrais permanecem ativas, possibilitando a promoção de melhorias na atividade neural e na resposta cognitiva (Wu et al., 2018). Pesquisas recentes demonstram a eficácia da musicoterapia em pacientes comatosos, evidenciando seu impacto na recuperação neurológica e na resposta cognitiva. Em um estudo de Hoseini et al. (2022), por exemplo, observou-se que pacientes em coma apresentaram um aumento significativo no nível de consciência após seis dias de intervenção com músicas preferidas. Outros estudos também compararam sinais vitais, expressões faciais e sinais

eletroneurográficos, verificando que a estimulação musical teve efeitos mais intensos do que outras formas de intervenção, como mensagens ou silêncio (Puggina; Da Silva, 2015). Além disso, a música demonstrou eficácia no alívio da agitação em pacientes com lesão cerebral traumática, funcionando como uma forma de relaxamento durante o tratamento (Park et al., 2016). Carrière et al. (2020) observaram aumentos significativos na conectividade funcional frontoparietal, relacionada à consciência, linguagem, emoção e memória, em pacientes com distúrbios de consciência profundos. Outro estudo de Froutan et al. (2020) revelou que a combinação de musicoterapia com recordação familiar levou à redução significativa na pressão arterial sistólica, diastólica, na frequência respiratória e na frequência cardíaca, comparado ao grupo controle. Por fim, Boltzmann et al. (2021) usaram a ressonância magnética funcional (fMRI) para avaliar a conectividade funcional, observando que a estimulação auditiva preferida e a estimulação auditiva aversiva aumentaram a conectividade funcional na rede auditiva de pacientes com síndrome do despertar não responsivo.

A combinação da musicoterapia com a análise de EEG representa uma abordagem emergente no monitoramento e avaliação da recuperação neurológica em pacientes críticos. O próximo tópico abordará a integração entre a musicoterapia e o EEG, destacando como essa associação pode auxiliar na avaliação da recuperação neurológica e no monitoramento da atividade cerebral residual em pacientes críticos. Essa abordagem promete não apenas aprimorar o diagnóstico, mas também contribuir para o tratamento e acompanhamento em ambientes de terapia intensiva.

### **1.1.3 EEG e à musicoterapia**

A associação entre musicoterapia e EEG tem se mostrado relevante na avaliação da progressão neurológica, especialmente pela sua praticidade e capacidade de facilitar o prognóstico de pacientes críticos (Koizumi; Araújo, 2005; Liu et al., 2023). Um estudo de Keller e Garbacenkaite (2015) demonstrou que a análise do EEG de dois dos três pacientes investigados indicou uma redução na razão Teta/Beta, com diminuição nas amplitudes Teta ao longo do tempo, sugerindo uma possível recuperação das funções cerebrais. Além disso, a pesquisa de Castro et al. (2015) avaliou o impacto da música no processamento cerebral de pacientes com distúrbios de consciência, evidenciando um desfecho favorável com a exposição à música preferida. No que diz respeito à ativação cerebral, Wu et al. (2018) observaram uma reação significativa da região temporal após a exposição a diferentes tipos de estímulos acústicos, conforme avaliação quantitativa do EEG.

Dessa forma, a integração entre EEG e musicoterapia evidencia-se como uma abordagem promissora para investigar a atividade cerebral residual em pacientes críticos. Como também, música, ao atuar como um estímulo sensorial significativo, pode favorecer respostas neurais detectáveis mesmo em condições de consciência reduzida, oferecendo contribuições importantes para a avaliação clínica e o acompanhamento do progresso neurológico. Com base nas evidências já descritas, é possível considerar essa associação não apenas como ferramenta diagnóstica, mas também como recurso terapêutico no cuidado humanizado em ambientes de terapia intensiva.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Devido à sua simplicidade, não invasivo e baixo custo, o EEG tem se mostrado uma ferramenta amplamente utilizada à beira do leito em pacientes com distúrbios de consciência, inclusive nas UTIs do Hospital de Clínicas de Uberlândia (HCU) (Kafashan et al., 2017; Yang et al., 2020). Essa facilidade de registro torna o EEG fundamental para avaliar a consciência em condições patológicas, permitindo quantificar de maneira eficaz a sincronia das respostas neurais, o que é especialmente relevante no contexto do Sistema Único de Saúde (SUS). Por exemplo, em um estudo de Alnes et al. (2021), foi possível avaliar 39 pacientes comatosos, observando que aqueles que sobreviveram apresentaram maior sincronia neural em comparação aos não sobreviventes, relacionando a condição de consciência com a probabilidade de sobrevivência. Além disso, o EEG precoce tem se mostrado essencial para identificar a recuperação neurológica após uma parada cardíaca. Em pesquisa de Hofmeijer et al. (2015), 17 dos 39 pacientes comatosos estudados apresentaram um padrão EEG favorável após 24 horas, indicando integridade das vias sensitivas centrais. De maneira similar, Jonas et al. (2019) conduziu um estudo com 267 pacientes, destacando o papel crucial do EEG no prognóstico, ajudando a evitar tratamentos desnecessários ou prolongados. O EEG, portanto, se torna uma ferramenta valiosa para os profissionais de saúde, proporcionando previsões precisas sobre o diagnóstico e o prognóstico dos pacientes, o que é essencial em ambientes críticos como as UTIs, especialmente no SUS, onde a rapidez e eficiência são fundamentais devido à alta demanda e muitas vezes à superlotação de leitos.

Dessa forma, a utilização do EEG como ferramenta de análise em protocolo de estimulação musical em pacientes comatosos da UTI é um tema que envolve aspectos clínicos e terapêuticos. Com isso, natureza desse tema reside na interseção entre a neurofisiologia, que busca entender a atividade elétrica cerebral, e a musicoterapia, que explora o impacto do som na recuperação neurológica e um meio contrapor a métodos convencionais que focam na

estabilização dos sistemas vitais e manejo da causa (Wijdicks, 2017). Logo, a importância desse estudo é motivada pela sua capacidade de oferecer um método de auxílio não invasivo, prático e de baixo custo para avaliar e potencializar a neurorreabilitação em pacientes críticos e melhora na qualidade de vida. Além disso, a utilização do EEG com a musicoterapia pode fornecer novos caminhos de análises sobre prognósticos, contribuindo significativamente para o desenvolvimento de novas abordagens terapêuticas nas UTIs.

### **1.3 OBJETIVO**

#### **1.3.1 Geral**

O objetivo deste estudo é realizar uma análise quantitativa dos sinais de EEG de pacientes comatosos da UTI/UFU, comparando os momentos de silêncio com a estimulação musical. Para isso, serão utilizados os quantificadores de Porcentagem de Contribuição de Potência (PCP) e Coerência, com o intuito de identificar possíveis variações significativas nos ritmos cerebrais, nos eletrodos e nas áreas cerebrais. Além disso, serão conduzidas análises estatísticas para avaliar a relevância dessas variações.

#### **1.3.2 Específicos**

Para alcançar o objetivo principal deste estudo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Processar os sinais EEG utilizando quantificadores de PCP e Coerência;
- Realizar análises estatísticas para verificar a significância das variações observadas;
- Comparar as variações nos ritmos cerebrais entre os momentos de silêncio e estimulação musical;
- Interpretar os resultados para avaliar a influência da estimulação musical na atividade cerebral de pacientes comatosos.

Diante da importância do EEG na avaliação do estado neurológico e da atividade cerebral em pacientes críticos, além de seu papel como ferramenta complementar no acompanhamento da recuperação e reabilitação, e considerando os objetivos propostos, apresenta-se a seguir a revisão bibliográfica que fundamenta os conceitos e métodos utilizados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A partir da pesquisa bibliográfica realizada com as palavras-chave: *((“musical stimulation” OR “music therapy”) AND (“coma” OR “minimal consciousness state”) AND (“intensive care units” OR ICU) AND (“electroencephalography” OR EEG))*, nas bases de dados PubMed, Elsevier, Cochrane Library, IEEE e Google Acadêmico, foram identificados 18 estudos. Destes, foram selecionados cinco que utilizaram a eletroencefalografia (EEG) como principal ferramenta de registro em pacientes comatosos internados em Unidades de Terapia Intensiva (UTI), submetidos a protocolos de estimulação musical.

A partir da Tabela 1, observa-se que o principal objetivo dos estudos analisados foi investigar a influência da musicoterapia no processo de recuperação de pacientes em estado de mínima consciência. Em relação às amostras avaliadas, a média de participantes por estudo foi de aproximadamente 28,8. De modo geral, as principais etiologias abordadas foram o traumatismo crânioencefálico, o acidente vascular cerebral isquêmico e a lesão cerebral traumática.

Também é possível inferir que o protocolo de estimulação teve, em média, duração de 15 minutos. As ferramentas de análise utilizadas foram variadas entre os estudos; contudo, a mais empregada foi a análise do espectro de potência do EEG quantitativo. Além disso, todos os estudos analisados utilizaram ritmos com frequências de até 30 Hz. Quanto aos principais resultados observados, destaca-se o estudo de Keller e Garbacenkaite (2015), que identificou uma redução na razão Teta/Beta em dois dos pacientes avaliados ao longo do protocolo de estimulação. Essa redução foi estatisticamente significativa para o paciente 1, que também apresentou aumento nos escores da escala CRS-R, juntamente com o paciente 2. Ambos os pacientes demonstraram melhora nas funções auditivas, motoras e de excitação. Observou-se ainda que a diminuição na razão Teta/Beta esteve associada à redução das amplitudes, resultante de uma mudança no ritmo Alfa.

No experimento conduzido por Sun (2015), observou-se que a proporção das ondas lentas Delta e Teta apresentou uma redução relativa, enquanto as ondas rápidas Alfa e Beta aumentaram. A análise por EEG quantitativo demonstrou que a musicoterapia favoreceu um maior despertar global, sugerindo que o índice  $(\delta + \theta / \alpha + \beta)$  pode ser um marcador útil na avaliação e no tratamento de pacientes em coma decorrente de traumatismo crânio-encefálico (TCE). Esse índice representa a razão entre ondas lentas e rápidas, e sua redução indica uma transição do cérebro de um estado mais profundo de inconsciência para um estado de maior atividade. No estudo, foi observada uma diminuição significativa desse índice, com resultados estatisticamente relevantes.

Tabela 1 – Resumo principais artigos.

(Continua)

ARTIGO	OBJETIVOS	GRUPO DO ESTUDO	ETIOLOGIA	PROTOCOLO DE ESTIMULAÇÃO	FERRAMENTA ESTATÍSTICA	PRINCIPAIS RESULTADOS
KELLER, 2015.	Avaliar mudança na consciência de pacientes não responsivos durante e após o tratamento com neuro feedback.	N = 3	Hemorragia subaracnóidea (n = 2). Lesão cerebral traumática (n = 1).	30 minutos (10 minutos de feedback e 20 minutos de música). 15 sessões 3 semanas Música favorita Período de descanso de 3 minutos antes do Início do tratamento. fa = 250 Hz.	Short Time Fourier Transform (Transformada de Fourier de Curto Prazo).	Diminuição da razão Teta/Beta e das amplitudes Teta ao longo do tempo, indicando uma possível recuperação das funções cerebrais.
SUN, 2015.	Aplicar o EEG quantitativo e o ECGI para avaliar o papel da musicoterapia em pacientes com coma cerebral traumatizado.	N = 40 (Grupo controle = 20 Grupo avaliado = 20).	Trauma crânioencefálico (n = 20).	15 a 30min 3 vezes ao dia 4 semanas Ritmo animado, lento e Estilo musical diferente, em reprodução aleatória. fa = Não especificado.	Uso da transformada de Fourier e Quantitativo (QEEG): Utilizada para medir a atividade elétrica do cérebro.	O valor do QEEG diminuiu no grupo de música após o tratamento, indicando uma melhora na função cerebral, com diferença significativa em relação ao grupo controle.
CASTRO, 2018.	Avaliar o efeito da música no processamento cerebral em pacientes com distúrbios de consciência.	N = 13.	Traumatismo crânioencefálico foi traumática (n = 7), anóxica (n = 4), metabólica (n = 1) ou tumoral (n = 1).	5 blocos intercalados por uma pessoa que pronunciava (16 bits, 44-100Hz, 80dB) o nome próprio do sujeito, sete outros nomes próprios (de uma lista de 18 nomes dissílabos). Para cada sujeito, foram criadas 10 sequências de 64 nomes próprios. fa = 256 Hz.	Uso da transformada de Fourier e análise de Potenciais Evocados (EEG).	A resposta cerebral ao primeiro nome do paciente foi mais frequentemente observada na condição de música do que na condição de controle.

(Conclusão)

ARTIGO	OBJETIVOS	GRUPO DO ESTUDO	ETIOLOGIA	PROTOCOLO DE ESTIMULAÇÃO	FERRAMENTA ESTATÍSTICA	PRINCIPAIS RESULTADOS
WU, 2018.	Avaliar a ativação cerebral em resposta a diferentes tipos de estímulos acústicos (música, nome do sujeito e ruído branco) utilizando a eletroencefalografia quantitativa (QEEG).	N = 28 (Grupo controle = 14 Grupo avaliado = 14).	Síndrome da vigília sem resposta (n = 7), Estado minimamente consciente (n = 7).	Período de silêncio de 5 minutos seguido pela apresentação de três estímulos acústicos contrastantes (música, SON e ruído branco), cada um com duração de 5 minutos, intercalados por 2 minutos de silêncio. fa = 512 Hz.	Espectro de potência do QEEG.	O estímulo do nome do sujeito (SON) provocou a maior ativação cerebral em pacientes com DOC, especialmente na região temporal.
HU, 2021.	Investigar se a música pode influenciar pacientes com Distúrbios de Consciência (DOC) e avaliar o efeito da música na negatividade de mismatch (MMN) como um indicador de recuperação da consciência.	N = 34 (Grupo controle = 20 Grupo avaliado = 14).	Acidente vascular cerebral isquêmico (n=5) Encefalopatia anóxica (n=2) Encefalomielite disseminada aguda (n=2) Hemorragia intracraniana (n=2) Encefalite japonesa (n=1) Encefalopatia hipoglicêmica (n=1) Lesão cerebral traumática (n=1).	25 minutos 3 sessões Os pacientes foram estimulados por ruídos (1200 Hz - 90db) e uma sinfonia chinesa chamada "Spring Festival Prelude" (800 Hz - 60-70db) por 5 minutos entre duas gravações de EEG. fa = 500 Hz.	ANÁLISE DE POTENCIAIS EVOCADOS (EEG).	Após a escuta da música, a MMN aumentou em 9 dos 14 pacientes, e 7 desses pacientes recuperaram a consciência.

Fonte: a autora.

Já em Wu et al. (2018b), verificou-se que, durante a estimulação musical, a razão ( $\delta + \theta / \alpha + \beta$ ) foi mais elevada nas regiões parietal e occipital em comparação às regiões frontal e temporal, tanto no grupo controle quanto no grupo com distúrbios da consciência (DOC). Além disso, o aumento da resposta neuronal esteve associado ao desfecho clínico: 9 dos 14 pacientes responderam de forma significativa aos estímulos, sendo que 6 evoluíram favoravelmente, com recuperação do estado de consciência, com o EEG quantitativo demonstrando um valor preditivo positivo de 66,7%.

A melhora na discriminação da consciência a partir da estimulação musical, assim como a utilização de estímulos autobiográficos, também foi observada por Castro et al. (2015). Esses estímulos promoveram uma pré-ativação da região médio-anterior do córtex, o que se associou a efeitos favoráveis na discriminação da consciência. Em todos os grupos avaliados, a resposta discriminatória foi mais evidente do que no grupo controle, sendo potencializada quando a música precedia o estímulo, em comparação com um contexto sonoro neutro.

Por fim, Hu et al. (2021) relataram um valor preditivo positivo de 63,6% e um valor preditivo negativo de 100% após a estimulação musical. Nove dos 14 pacientes avaliados apresentaram aumento da negatividade de incompatibilidade ao ouvir música, dos quais 6 recuperaram a consciência. No entanto, os resultados não alcançaram significância estatística.

A revisão bibliográfica realizada demonstrou que a estimulação musical tem potencial terapêutico em pacientes com distúrbios da consciência, promovendo alterações eletroencefalográficas associadas ao despertar e à recuperação clínica. Destacou-se o uso do EEG quantitativo como principal ferramenta de avaliação, com ênfase na razão entre ondas lentas e rápidas ( $\delta + \theta / \alpha + \beta$ ) como possível marcador de prognóstico.

Essas evidências forneceram base sólida para o desenvolvimento da metodologia do presente estudo, orientando a escolha dos parâmetros de estimulação musical, o tempo de aplicação e os indicadores eletrofisiológicos a serem monitorados. Assim, o próximo capítulo descreverá o delineamento metodológico adotado, alinhado às práticas e evidências encontradas na literatura, com vistas à análise da resposta neurológica de pacientes submetidos à intervenção musical em ambiente de terapia intensiva.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo está apresentada nas seções 3.1 e 3.2. A seção 3.1 descreve os procedimentos de coleta de dados, enquanto a seção 3.2 aborda as etapas de processamento dos dados e 3.3 as considerações finais.

#### 3.1 Coleta de dados

##### 3.1.1 Submissão ao comitê de ética

Os registros eletroencefalográficos foram realizados na Unidade de Terapia Intensiva Adulto do Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (UTIA/HC-UFU). O estudo foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFU, sob o parecer consubstanciado nº 82824017.5.0000.5152 (Anexo 1). Todos os procedimentos foram conduzidos de acordo com os parâmetros descritos no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), com autorização formal dos familiares dos pacientes. Os registros foram realizados durante a rotina médica, conforme previsto no protocolo terapêutico institucional, não implicando em alterações nas condutas assistenciais estabelecidas. Dessa forma, assegurou-se a não interferência no cuidado e no manejo clínico dos pacientes envolvidos.

##### 3.1.2 Critérios para a coleta de dados

Os participantes da amostra foram selecionados com base nos critérios de inclusão: pacientes adultos, hemodinamicamente estáveis e com registros de EEG adequados para análise devido à baixa interferência de ruídos. A amostra foi composta por 21 indivíduos, dos quais aproximadamente 62% eram do sexo masculino, com idades entre 60 e 86 anos. Todos apresentavam um estado profundo de inconsciência, com pontuações mínimas nas escalas de coma de Glasgow ou RASS. As principais etiologias foram Traumatismo Cranioencefálico (TCE), Acidente Vascular Cerebral (AVC), Hemorragia Subaracnóidea (HSA), Acidente Vascular Encefálico Hemorrágico (AVEh) e Acidente Vascular Cerebral Hemorrágico (AVCh), outras informações relacionadas ao perfil clínico dos pacientes estão contidas na Tabela 2 (Costa, 2022).

Tabela 2 – Informações consideradas para realização do estudo.

GÊNERO	IDADE	DIAGNÓSTICO	COMA NATURAL /INDUZIDO
Masculino	81	TCE	Natural
Masculino	45	AVC hemorrágico	Natural

Masculino	86	TCE	Natural
Masculino	37	TCE hematoma subdural	Natural
Masculino	21	-	Natural
Masculino	81	AVC hemorrágico parietal	Natural
Masculino	86	TCE	Natural
Masculino	49	TCE	Natural
Feminino	64	AVC hemorrágico	Natural
Masculino	47	TCE	Natural
Masculino	73	TCE	Natural
Masculino	68	HSA aneurismática Fisher 3	Natural
Masculino	70	TCE	Induzido
Masculino	30	TCE grave – HEA + Fratura de base de crânio	Induzido
Feminino	46	Hematoma Intraparenquimatoso Frontoparietal esquerdo	Induzido
Feminino	66	Choque Séptico	Natural
Feminino	39	TCE grave	Induzido
Feminino	58	Covid	Natural
Feminino	37	Adrenalectomia radical oncológica	Induzido
Feminino	78	AVE h agudo no parênquima do lobo Fronto parietal esquerdo	Natural
Feminino	48	AVCh talâmico direito	Natural

Fonte: a autora.

### 3.1.3 Protocolo de coleta de dados

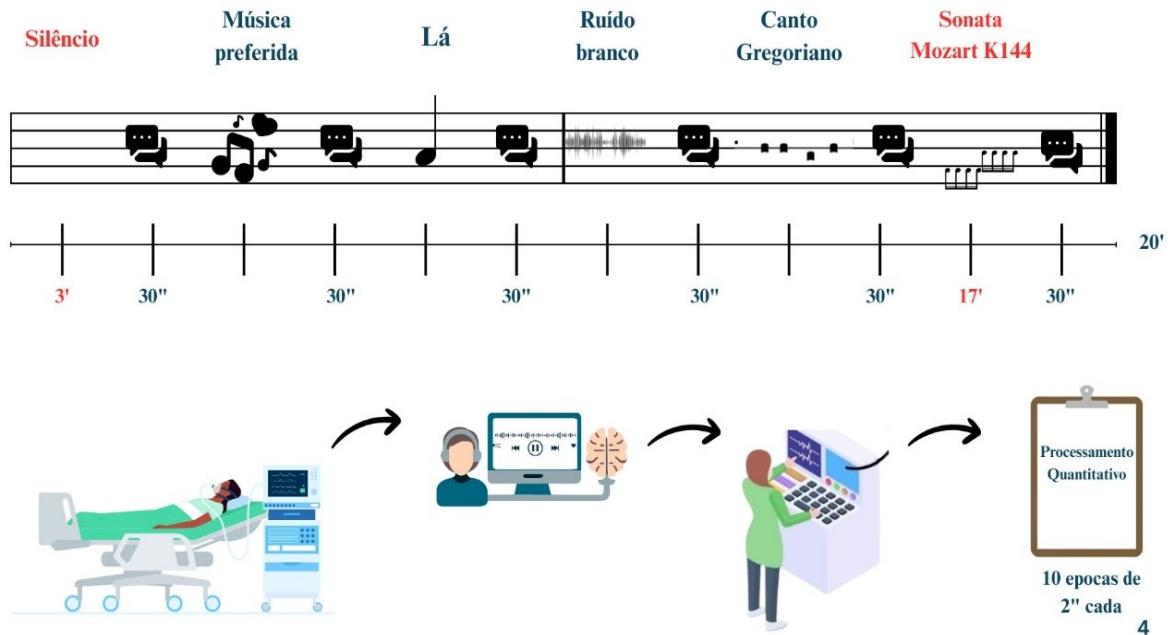
O registro do EEG foi realizado utilizando o equipamento disponível no HC-UFG, configurado para uma frequência de amostragem de 400 Hz, especificamente o amplificador de sinais BrainNet BNT-EEG. Foram coletados dados de 23 canais de EEG, seguindo o protocolo de posicionamento de eletrodos do sistema 10-20, com o paciente deitado e olhos fechados. O procedimento teve uma duração contínua de 20 minutos. Durante a sessão, a estimulação sonora foi aplicada por meio de um arquivo de áudio previamente preparado, reproduzido em um

laptop conectado ao equipamento de EEG, com o áudio transmitido por caixas de som ajustadas a um volume adequado ao ambiente e posicionadas próximas à cabeça do paciente. A sessão experimental foi dividida em seis períodos de três minutos cada, alternando entre diferentes tipos de estímulos sonoros, os quais foram aplicados uma única vez na seguinte ordem: silêncio, música preferida do paciente (informada pela família), nota Lá inteira, ruído branco, canto gregoriano e, finalmente, a sonata de Mozart K144. Entre cada estímulo, houve intervalos de 30 segundos, durante os quais foram reproduzidos sons de conversas humanas. A Imagem 1 ilustra o protocolo de estimulação utilizado neste estudo.

### 3.2 Processamento dos dados

Após a aquisição dos sinais, dois neurologistas do setor de Neurofisiologia Clínica do HC-UFGD analisaram os registros, selecionando dez segmentos de dois segundos cada. A primeira análise foi realizada em um trecho de silêncio inicial, nos três minutos iniciais da estimulação, enquanto a segunda análise foi feita no último trecho da estimulação musical da sonata de Mozart K144, nos três minutos finais da estimulação. Na Imagem 1, os trechos escolhidos foram representados na cor vermelha. Esses trechos foram escolhidos com base em sua relevância clínica e estavam livres de artefatos identificáveis por inspeção visual.

Imagen 1 – Protocolo de estimulação para coleta e processamento dos dados.



Fonte: a autora.

### 3.2.1 Quantificadores

Para a análise do sinal EEG foram utilizados dois quantificadores, sendo eles, Porcentagem de Contribuição de Potência (PCP) e Coerência.

#### 3.2.1.1 Porcentagem de Contribuição de Potência (PCP)

O cálculo do PCP, que é derivado da transformada de Fourier, amplamente descrito em (Ramos, 2017), baseia-se na Densidade Espectral de Potência de um eletrodo, calculando a razão entre a potência de uma banda específica e a potência total do espectro. Com isso, tem como objetivo quantificar a potência relativa das bandas cerebrais de interesse em relação à potência total do sinal EEG, sendo expressa em porcentagem de contribuição de cada ritmo cerebral em relação à potência total do sinal registrado, sendo maiores valores indicativos de maiores atividades daquele ritmo específico. As equações são representadas abaixo (1) e (2).

$$PCP_{ritmo i_a} = \frac{\int_{f=f_{in}ritmo}^{f_{out}ritmo} |S_x i_a(f)|^2 df}{P_i} \quad (1)$$

Onde:

$i$  – épocas;

$f_{in}ritmo$  – Primeiro valor de frequência do ritmo analisado [Hz];

$f_{out}ritmo$  – Último valor de frequência do ritmo analisado [Hz];

$S_x i_a(f)$  - Densidade espectral de potência (PDS) do sinal EEG no eletrodo x [W/Hz].

$$P = \int |S_x i_a(f)|^2 df \quad (2)$$

Para a obtenção do PCP, são consideradas duas variáveis essenciais: o número de eletrodos utilizados na análise e a duração total das épocas selecionadas. Assim, ao final do processamento desse quantificador, cada registro gera matrizes estruturadas com "m" linhas, correspondendo à quantidade de eletrodos, e "n" colunas, que representam os segmentos de sinal previamente definidos.

Cada matriz gerada refere-se a uma banda cerebral específica, sendo essas divididas da seguinte forma: Delta (1 a 3,5 Hz), Teta (3,5 a 7,5 Hz), Alfa (7,5 a 12 Hz), Beta (12 a 30 Hz), Gama (30 a 80 Hz) e Super Gama (80 a 100 Hz).

### 3.2.1.2 Coerência

Esse quantificador é utilizado para avaliar o grau de simetria ou acoplamento entre os sinais de diferentes regiões cerebrais, no caso o hemisférios direito e esquerdo, tomando como base a Densidade Espectral de Potência. Conforme descrito em (Ramos, 2017), seu cálculo segue a equação (3), cujos valores variam entre 0 e 1. Quanto maior a semelhança entre os sinais analisados, mais próximo de 1 será o valor da Coerência, indicando forte correlação e sinais com grandes diferenças apresentam valores próximos de 0, conforme a equação (4).

$$|\Gamma_{xy}(e^{jw})_i|^2 = \frac{|S_{xy}(e^{jw})|^2}{S_x(e^{jw}) \cdot S_y(e^{jw})} \quad (3)$$

$$0 \leq |\Gamma_{xy}(e^{jw})_i|^2 \leq 1 \quad (4)$$

Onde:

$S_{xy}$  - Densidade espectral de potência cruzada;

$S_x$  - Densidade espectral do sinal X;

$S_y$  - Densidade espectral do sinal Y;

$i$  - Segmento considerado.

Para essa análise, foram considerados oito pares de eletrodos distribuídos conforme o sistema 10-20 de posicionamento: FP1-FP2, F7-F8, F3-F4, T3-T4, C3-C4, T5-T6, P3-P4 e O1-O2. Dessa forma, é possível comparar as características dos sinais entre os dois hemisférios cerebrais.

### 3.2.1 Análise Estatística

A análise estatística envolve a análise descritiva, considerando que os valores representativos, tanto de PCP quanto Coerência, foram por meio de mediana  $\pm$  desvio padrão. Além dessa análise, os dados obtidos no início de silêncio e no final da estimulação com a música Mozart, foram comparados. O objetivo principal foi identificar as variações estatisticamente mais significativas entre esses dois momentos. Para isso, foi aplicado o teste de Wilcoxon dos Postos Sinalizados, uma metodologia apropriada para amostras emparelhadas provenientes de distribuições contínuas que diferem apenas em suas médias, garantindo que a distribuição das diferenças seja contínua e simétrica (Montgomery; Runger, 2009).

O processo de aplicação do teste consiste em ordenar as diferenças absolutas entre os pares de dados em ordem crescente e, em seguida, atribuir os sinais correspondentes. Nos casos de empate, é calculada a média dos postos. A soma dos postos positivos é representada por  $W_+$ , enquanto  $W_-$  corresponde ao valor absoluto da soma dos postos negativos. O menor valor entre  $W_+$  e  $W_-$  define  $W$ . Se o valor de  $W$  for inferior ao valor crítico  $W_\alpha^*$  a hipótese nula ( $H_0: \mu_1 = \mu_2$ ) é rejeitada em favor da hipótese alternativa ( $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ ) (Montgomery; Runger, 2009). Além disso, o valor de  $W$  pode ser convertido em um p-valor, que representa a probabilidade de observar um valor de  $W$  tão extremo quanto o valor calculado, sob a hipótese nula. Para determinar o p-valor, compara-se o valor de  $W$  obtido com uma distribuição de referência do teste de Wilcoxon, levando em conta o número de pares de dados e o nível de significância  $\alpha$ . Se o p-valor for inferior ao nível de significância, tipicamente 0,05, rejeita-se a hipótese nula, indicando que a diferença entre as condições analisadas é estatisticamente significativa. Isso sugere que a diferença observada nas amostras não é devido ao acaso, mas sim a uma verdadeira diferença entre as condições.

Também foi calculada a Variação Percentual (VAP) (5) para comparar as condições de música e silêncio. Esse cálculo considera a diferença entre as medianas das duas situações, dividindo o valor absoluto dessa diferença pela maior mediana e multiplicando por 100 para expressar a variação em termos percentuais. Essa abordagem permitiu identificar os ritmos e eletrodos que apresentaram as maiores diferenças, destacando-se os casos em que o p-valor foi inferior a 0,05 no teste de Wilcoxon, evidenciando mudanças significativas na atividade cerebral entre os momentos analisados.

$$VAP = \frac{P_{medio1} - P_{medio2}}{Max(P_{medio1}, P_{medio2})} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

$P_{medio1}$  – Valor mediano da potência espectral da música;

$P_{medio2}$  – Valor mediano da potência espectral do silêncio;

$Max(P_{medio1}, P_{medio2})$  – Operador com maior valor entre os dois P.

Para a elaboração dos histogramas são considerados os p-valores significativos. Com isso, foi gerado uma rotina MATLAB que realizou análises estatísticas para dividir os dados silêncio e música, calcular as medianas para cada ritmo e eletrodo, realizar o teste estatístico de Wilcoxon para identificar os p-valores, calcular o VAP entre os dois estados e filtrar os VAPs

para diferenças significativas. Isso considerando que para PCP a matriz resultante é de 20x6 (20 eletrodos x 6 ritmos) e para Coerência a matriz resultante é 8x6 (8 pares de eletrodos x 6 ritmos).

A metodologia descrita neste estudo foi projetada para garantir a coleta e análise precisa dos dados EEG, com ênfase na aplicação de estímulos sonoros para avaliar as variações nas atividades cerebrais de pacientes em estado crítico. Os dados foram adquiridos utilizando equipamentos de alta qualidade e seguindo o protocolo de posicionamento de eletrodos do sistema 10-20, com protocolo de estimulação muito bem estabelecido para garantir uma análise representativa dos efeitos dos estímulos sonoros. Além disso, a utilização de quantificadores como o PCP e a Coerência permitiu uma avaliação detalhada das atividades cerebrais durante as fases de silêncio e estimulação sonora. Como também, a aplicação do teste estatístico de Wilcoxon e a análise do VAP proporcionaram uma forma robusta de comparar as condições e identificar diferenças significativas nos ritmos cerebrais.

O detalhamento de todos os processos metodológicos forneceu a base necessária para que o processamento quantitativo fosse realizado de maneira adequada, possibilitando a obtenção dos resultados para as devidas análises. Assim, no próximo capítulo, os resultados obtidos são apresentados com base nessa metodologia, destacando as variações significativas nas atividades cerebrais, de acordo com ritmo cerebral e eletrodo e discutindo suas implicações clínicas no contexto de pacientes em estado crítico, a partir do processamento quantitativo.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Porcentagem de Contribuição de Potência (PCP)

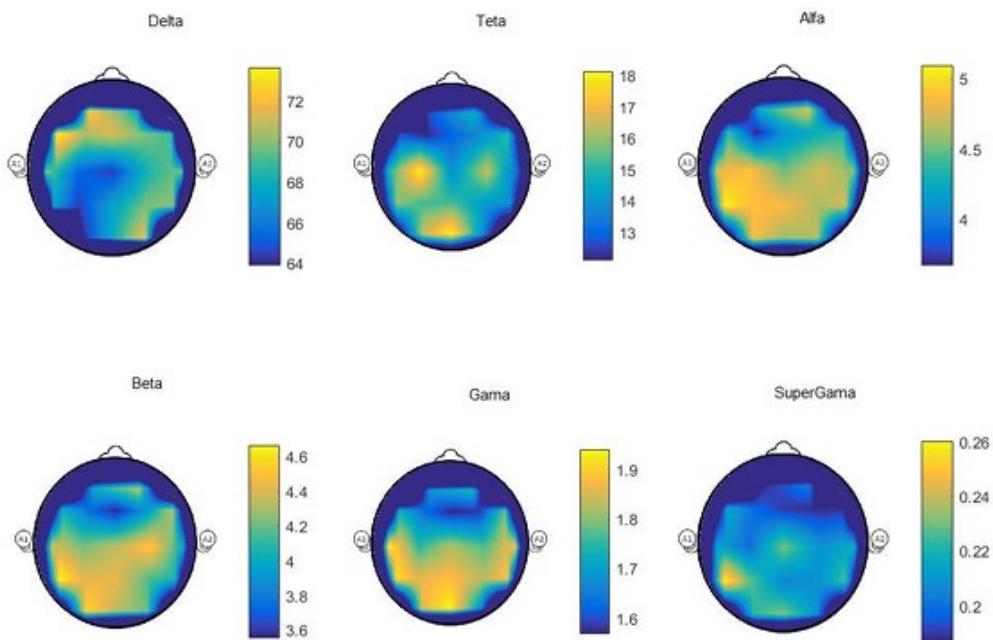
A Tabela 3 apresenta os valores das medianas obtidas para o quantificador PCP em todos os eletrodos, considerando cada um dos seis ritmos cerebrais (Delta, Teta, Alfa, Beta, Gama e Super Gama) e as situações de silêncio versus estimulação musical pela sonata Mozart. Nota-se que a maioria dos eletrodos apresenta um aumento nos valores de PCP na condição de estimulação musical em comparação ao silêncio, sendo esta característica mais evidente nos ritmos Delta e Gama, em 12 eletrodos. Os ritmos Beta e Super Gama obtiveram aumentos menos significativos sendo em 9 eletrodos. Em relação aos maiores valores de PCP por ritmo em comparação aos estímulos, Delta e Teta foram os que obtiveram mais aumentos, sendo que, para Delta, o aumento foi mais significativo nos eletrodos P3 (8,69), CZ (7,70), O1 (6,41), PZ (4,98), C3 (4,76), FZ (4,21), P4 (4,13) e menor no eletrodo T4 (0,01), enquanto, para Teta, a maior variação ocorreu em C3 (3,25), OZ (2,60) e CZ (2,24), já a menor em F7 (0,24).

As Imagens 2 e 3 ilustram, respectivamente, as topografias dos momentos de silêncio e de estimulação musical. No momento de silêncio, observa-se que a maior concentração de potência do ritmo Delta ocorreu na região frontal, em concordância com os dados da Tabela 3, que destacam os eletrodos FP1 e F7 como aqueles com maior variação de potência. O ritmo Alfa apresentou forte concentração na região occipital, especialmente nos eletrodos OZ e O2, que registraram as maiores variações. Para a faixa Beta, a atividade predominou nas regiões parietal e occipital, com destaque para os eletrodos P4, T6 e OZ. Já o ritmo Super Gama demonstrou um foco discreto também na região occipital. Durante a estimulação musical, o ritmo Delta apresentou maior concentração nas regiões temporal e occipital, com os eletrodos T3, T6, O1 e OZ se destacando, além de um leve foco frontal no eletrodo F7. O ritmo Teta concentrou-se principalmente na região frontal, com maior atividade nos eletrodos FP2 e F4. O ritmo Alfa mostrou-se mais evidente na região parietal, com ênfase no eletrodo P4. As bandas Beta e Gama apresentaram distribuição predominante nas regiões temporal e parietal, com destaque para os eletrodos F4, F8, T4, P4 e T6. Por fim, o ritmo Super Gama concentrou-se nas regiões parietal e occipital, especialmente nos eletrodos P4 e O2.

Os valores de Variação Percentual (VAP) entre os momentos de silêncio e de estimulação musical estão apresentados na Tabela 4, com base nos resultados do teste estatístico descrito na metodologia. Nessa tabela, os locais topográficos com significância estatística ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) foram destacados em azul, a fim de oferecer uma visão geral das regiões cerebrais em que houve diferença significativa entre as condições analisadas. De maneira geral, as

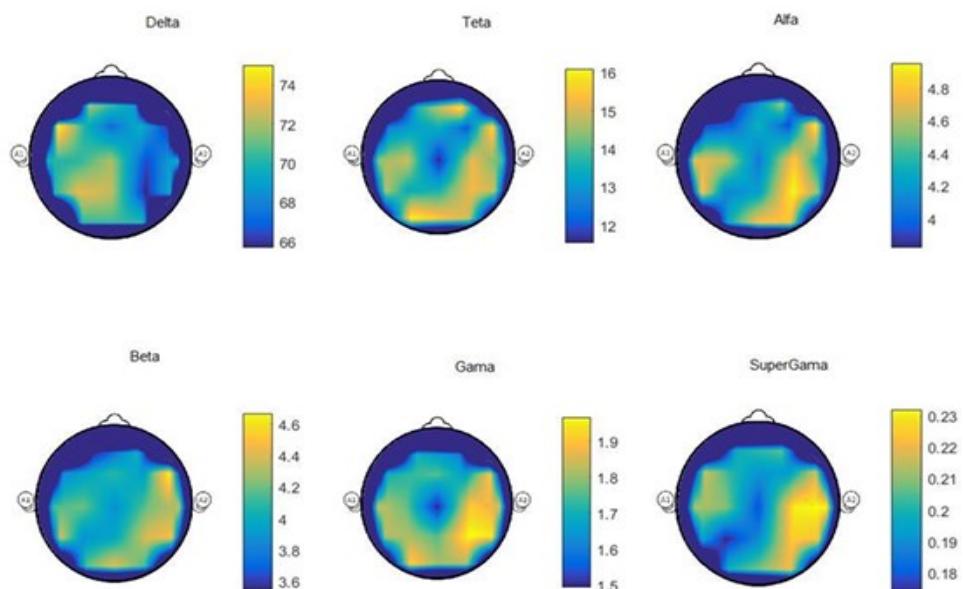
variações foram modestas: aproximadamente 5% para o ritmo Delta, 15% para Teta, 5% para Alfa, 5% para Beta, 10% para Gama e ausência de variação para o ritmo Super Gama. Esses resultados indicam que, estatisticamente, houve poucas diferenças significativas entre os momentos de silêncio e estímulo musical nas diferentes regiões cerebrais avaliadas.

Imagen 2 – Topografias cerebrais no momento silêncio para valores de PCP.



Fonte: a autora.

Imagen 3 – Topografias cerebrais no momento música para valores de PCP.



Fonte: a autora.

Tabela 3 – Valores das Medianas  $\pm$  Desvio Padrão de PCP para situação silêncio e música.

<b>E</b>	<b>SIT.</b>	<b>D</b>	<b>T</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>G</b>	<b>SG</b>
FP1	S	72,55 $\pm$ 25,71	12,82 $\pm$ 17,84	4,29 $\pm$ 9,87	4,01 $\pm$ 4,90	1,68 $\pm$ 2,87	0,19 $\pm$ 7,61
	M	71,96 $\pm$ 27,88	13,71 $\pm$ 16,56	3,82 $\pm$ 6,11	3,54 $\pm$ 4,96	1,70 $\pm$ 2,69	0,20 $\pm$ 9,70
FP2	S	68,13 $\pm$ 25,91	14,69 $\pm$ 19,16	4,79 $\pm$ 10,88	4,33 $\pm$ 4,24	1,74 $\pm$ 1,47	0,20 $\pm$ 5,89
	M	68,90 $\pm$ 26,07	15,97 $\pm$ 16,90	4,59 $\pm$ 9,37	4,03 $\pm$ 4,13	1,61 $\pm$ 1,95	0,21 $\pm$ 8,19
F7	S	73,64 $\pm$ 21,41	12,87 $\pm$ 14,17	4,41 $\pm$ 5,65	4,04 $\pm$ 5,89	1,73 $\pm$ 2,68	0,21 $\pm$ 1,05
	M	75,02 $\pm$ 22,55	12,62 $\pm$ 15,22	3,89 $\pm$ 6,12	3,84 $\pm$ 4,35	1,70 $\pm$ 2,52	0,22 $\pm$ 1,43
F3	S	70,60 $\pm$ 24,76	12,10 $\pm$ 18,37	3,67 $\pm$ 10,50	3,75 $\pm$ 6,57	1,63 $\pm$ 3,34	0,20 $\pm$ 3,30
	M	69,93 $\pm$ 21,66	13,19 $\pm$ 16,78	3,98 $\pm$ 6,30	3,97 $\pm$ 6,01	1,74 $\pm$ 3,21	0,20 $\pm$ 3,44
FZ	S	71,44 $\pm$ 28,13	12,97 $\pm$ 21,22	4,10 $\pm$ 11,97	3,56 $\pm$ 6,67	1,57 $\pm$ 3,90	0,19 $\pm$ 1,05
	M	67,23 $\pm$ 24,99	12,11 $\pm$ 19,68	4,31 $\pm$ 8,70	4,10 $\pm$ 5,31	1,76 $\pm$ 2,97	0,19 $\pm$ 9,67
F4	S	69,92 $\pm$ 25,49	13,78 $\pm$ 20,23	4,26 $\pm$ 12,14	3,90 $\pm$ 3,60	1,58 $\pm$ 2,67	0,19 $\pm$ 1,78
	M	69,76 $\pm$ 26,16	15,84 $\pm$ 16,64	3,93 $\pm$ 10,41	3,92 $\pm$ 5,40	1,66 $\pm$ 11,39	0,19 $\pm$ 4,37
F8	S	68,95 $\pm$ 25,62	15,09 $\pm$ 16,77	4,36 $\pm$ 11,65	4,34 $\pm$ 7,90	1,79 $\pm$ 4,03	0,19 $\pm$ 0,23
	M	65,92 $\pm$ 26,75	14,51 $\pm$ 17,49	4,95 $\pm$ 9,84	4,67 $\pm$ 8,29	1,90 $\pm$ 6,47	0,22 $\pm$ 1,05
T3	S	69,92 $\pm$ 25,65	15,10 $\pm$ 17,26	4,79 $\pm$ 8,81	4,41 $\pm$ 3,71	1,94 $\pm$ 1,73	0,21 $\pm$ 0,78
	M	70,06 $\pm$ 23,84	14,89 $\pm$ 15,46	4,73 $\pm$ 6,88	4,15 $\pm$ 5,44	1,84 $\pm$ 2,17	0,21 $\pm$ 0,40
C3	S	65,47 $\pm$ 23,87	18,14 $\pm$ 17,45	4,90 $\pm$ 10,67	4,22 $\pm$ 4,05	1,75 $\pm$ 1,76	0,20 $\pm$ 0,59
	M	70,22 $\pm$ 23,05	14,89 $\pm$ 17,94	4,66 $\pm$ 7,16	4,20 $\pm$ 4,08	1,76 $\pm$ 1,79	0,21 $\pm$ 1,11
CZ	S	64,37 $\pm$ 26,44	13,80 $\pm$ 19,54	4,50 $\pm$ 11,03	4,34 $\pm$ 14,78	1,83 $\pm$ 2,80	0,23 $\pm$ 2,11
	M	72,07 $\pm$ 23,09	11,55 $\pm$ 18,60	4,06 $\pm$ 7,15	3,87 $\pm$ 8,79	1,49 $\pm$ 1,92	0,18 $\pm$ 2,02
C4	S	68,46 $\pm$ 25,30	16,47 $\pm$ 19,03	4,77 $\pm$ 12,10	4,53 $\pm$ 3,67	1,77 $\pm$ 2,06	0,21 $\pm$ 0,73
	M	66,39 $\pm$ 23,26	15,21 $\pm$ 18,34	4,82 $\pm$ 7,63	4,21 $\pm$ 4,43	1,91 $\pm$ 3,68	0,23 $\pm$ 2,04
T4	S	69,83 $\pm$ 23,94	13,17 $\pm$ 16,74	4,56 $\pm$ 7,77	4,04 $\pm$ 4,29	1,89 $\pm$ 6,20	0,22 $\pm$ 2,10
	M	69,82 $\pm$ 24,71	14,01 $\pm$ 16,71	4,10 $\pm$ 8,26	4,35 $\pm$ 5,65	1,86 $\pm$ 8,42	0,23 $\pm$ 1,35
T5	S	67,51 $\pm$ 22,40	16,01 $\pm$ 15,69	5,10 $\pm$ 8,30	4,67 $\pm$ 5,63	1,91 $\pm$ 1,65	0,26 $\pm$ 0,90
	M	70,23 $\pm$ 21,94	14,76 $\pm$ 16,12	4,78 $\pm$ 0,98	4,38 $\pm$ 3,89	1,83 $\pm$ 1,38	0,19 $\pm$ 0,33
P3	S	64,44 $\pm$ 23,13	15,24 $\pm$ 18,54	4,88 $\pm$ 10,64	4,43 $\pm$ 5,24	1,86 $\pm$ 2,47	0,23 $\pm$ 1,27
	M	73,13 $\pm$ 22,18	13,40 $\pm$ 16,59	4,11 $\pm$ 6,10	3,88 $\pm$ 5,90	1,82 $\pm$ 1,81	0,17 $\pm$ 0,81
PZ	S	67,43 $\pm$ 24,11	16,30 $\pm$ 18,02	4,86 $\pm$ 10,22	4,45 $\pm$ 6,42	1,88 $\pm$ 2,79	0,20 $\pm$ 1,26
	M	72,41 $\pm$ 21,44	13,60 $\pm$ 14,96	4,22 $\pm$ 7,39	3,96 $\pm$ 5,05	1,75 $\pm$ 1,81	0,19 $\pm$ 0,48
P4	S	69,83 $\pm$ 25,30	14,07 $\pm$ 16,22	4,63 $\pm$ 10,13	4,14 $\pm$ 7,95	1,83 $\pm$ 2,58	0,21 $\pm$ 2,28
	M	65,71 $\pm$ 22,74	15,27 $\pm$ 17,22	4,95 $\pm$ 8,44	4,42 $\pm$ 5,60	1,97 $\pm$ 2,16	0,23 $\pm$ 1,25
T6	S	70,08 $\pm$ 23,99	13,93 $\pm$ 15,73	4,80 $\pm$ 6,21	4,04 $\pm$ 8,70	1,91 $\pm$ 3,57	0,23 $\pm$ 0,90
	M	71,00 $\pm$ 23,72	14,75 $\pm$ 14,85	4,42 $\pm$ 7,03	4,52 $\pm$ 5,41	1,95 $\pm$ 2,00	0,22 $\pm$ 1,16
O1	S	63,91 $\pm$ 25,78	16,59 $\pm$ 18,56	4,87 $\pm$ 9,22	4,57 $\pm$ 8,03	1,87 $\pm$ 2,30	0,22 $\pm$ 0,56
	M	70,33 $\pm$ 27,24	16,11 $\pm$ 17,83	4,31 $\pm$ 9,14	4,18 $\pm$ 7,30	1,92 $\pm$ 1,54	0,20 $\pm$ 0,54
OZ	S	67,89 $\pm$ 26,18	18,09 $\pm$ 17,61	4,60 $\pm$ 10,09	4,35 $\pm$ 8,63	1,94 $\pm$ 1,72	0,23 $\pm$ 0,47
	M	70,51 $\pm$ 24,84	15,49 $\pm$ 16,94	4,78 $\pm$ 8,02	4,44 $\pm$ 7,26	1,81 $\pm$ 1,95	0,21 $\pm$ 0,49
O2	S	71,75 $\pm$ 22,07	13,34 $\pm$ 14,27	4,68 $\pm$ 9,40	4,20 $\pm$ 3,41	1,68 $\pm$ 1,41	0,21 $\pm$ 4,58
	M	70,23 $\pm$ 23,30	14,97 $\pm$ 18,94	4,79 $\pm$ 7,45	4,13 $\pm$ 4,10	1,82 $\pm$ 1,71	0,22 $\pm$ 0,75

Onde: E – Eletrodos; SIT. - Situação; D – Delta; T – Teta; A – Alfa; B – Beta; G – Gama; SG – Super Gama; S – Silêncio; M – Música.

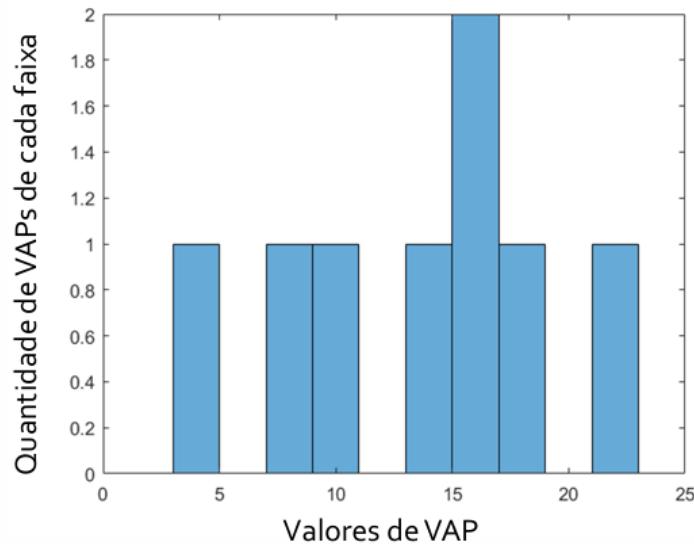
Tabela 4 – Valores de VAP por ritmo e eletrodos.

<b>E</b>	<b>D</b>	<b>T</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>G</b>	<b>SG</b>
FP1	0,82	6,43	10,83	11,66	1,11	5,66
FP2	1,11	7,99	4,21	7,01	7,24	1,51
F7	0,11	6,08	14,03	5,74	2,19	0,07
F3	0,94	8,26	7,81	5,58	6,10	1,51
FZ	1,03	5,26	6,36	16,43	11,87	1,88
F4	0,23	12,13	7,73	0,55	4,82	2,42
F8	4,40	4,75	11,92	7,07	5,94	13,10
T3	0,19	3,88	1,08	6,00	4,78	0,42
C3	6,77	17,91	4,92	0,41	0,88	4,77
CZ	5,77	<b>22,73</b>	10,57	11,56	18,20	23,46
C4	3,02	7,69	1,05	7,22	7,59	9,59
T4	0,01	5,98	10,18	7,05	1,64	6,25
T5	<b>3,88</b>	7,77	6,16	6,20	4,61	25,23
P3	8,74	<b>13,64</b>	<b>17,40</b>	<b>15,85</b>	<b>7,80</b>	27,97
PZ	3,09	<b>15,86</b>	15,89	12,82	10,94	10,88
P4	5,90	7,83	6,53	6,28	6,89	7,39
T6	4,83	8,38	6,73	11,48	4,53	2,86
O1	9,12	2,90	11,41	8,48	2,81	10,69
OZ	3,72	14,37	3,68	2,00	6,73	10,08
O2	0,63	10,43	4,02	0,84	<b>9,27</b>	6,68

Onde: E – Eletrodos; D – Delta; T – Teta; A – Alfa; B – Beta; G – Gama; SG – Super Gama.

Obs: Casas destacadas em azul indicam diferenças estatísticas significativas (p-valor < 0,05).

Imagen 4 – Histograma de VAP considerando apenas regiões cujo p-valor < 0,05 para PCP.



Fonte: a autora.

Os valores de VAP apresentados no histograma da Imagem 4 comparam os 20 eletrodos analisados em relação aos seis ritmos cerebrais, evidenciando que apenas 6,67% dos casos apresentaram significância estatística, conforme indicado na Tabela 4. A análise mostra uma predominância de valores inferiores a 20, com maior concentração na faixa de 10 a 20, onde se encontram quatro dos VAPs significativos ( $p$ -valor < 0,05). A variação máxima dos VAPs significativos não ultrapassou 25. Já as faixas extremas, de 0 a 5 e de 20 a 25, registraram apenas um caso cada, sugerindo que alterações percentuais muito pequenas ou muito grandes foram menos frequentes nos dados analisados.

#### 4.1.1 Discussão PCP

Os resultados de PCP indicaram um aumento mais evidente nos valores medianos durante a estimulação musical em comparação ao silêncio, especialmente nos ritmos Delta e Gama. Para o ritmo Delta, observou-se maior concentração nas regiões temporal e occipital, com um leve destaque na região frontal esquerda. Já o ritmo Teta apresentou maior concentração na região frontal. De modo geral, a estimulação musical levou a uma predominância de potência na região parieto-occipital, com destaque para os ritmos Teta, Alfa, Gama e Super Gama. É relevante destacar que, entre os ritmos de alta frequência, Gama e Super Gama apresentaram aumentos expressivos nas medianas, de aproximadamente 60% e 45%, respectivamente. O ritmo Super Gama, em particular, demonstrou uma alteração mais acentuada na concentração de potência durante a estimulação musical. No entanto, ao se

considerar os valores de VAP com significância estatística ( $p$ -valor  $< 0,05$ ), apenas o ritmo Gama apresentou dois valores significativos. Em termos gerais, as variações percentuais mais frequentes se concentraram na faixa de 10 a 20.

Do ponto de vista neurofisiológico, os ritmos Delta e Teta estão associados a estados de sonolência, inconsciência e sono profundo. Em contraste, o ritmo Gama está relacionado a processos de reorganização cerebral, integração sensorial e percepção consciente, enquanto os ritmos Alfa e Beta refletem maior responsividade cortical (Keller & Garbacenkaite, 2015). Estudos prévios (Sun, 2015; Wu et al., 2018) demonstraram que o índice  $\delta + \theta / \alpha + \beta$  tende a diminuir, podendo servir como parâmetro para monitorar a evolução de pacientes em coma e avaliar a eficácia de intervenções terapêuticas, como a musicoterapia. Além disso, registros de EEG quantitativo indicam que a musicoterapia pode promover maior nível de ativação e despertar cerebral.

Em (Wu et al., 2018), a influência foi maior nos lobos parietal e occipital em comparação as regiões frontal e temporal nos grupos controle e DOC. Isso sugere que a musicoterapia exerce um impacto mais significativo nessas áreas, possivelmente devido ao papel na integração sensorial, processamento auditivo e percepção espacial. Também, a resposta neuronal foi relacionada ao desfecho clínico, demonstrando um prognóstico favorável com melhora na recuperação, reforçando a hipótese da contribuição terapêutica da música em pacientes comatosos (Hu et al., 2021).

## 4.2 Coerência

Na Tabela 5 são apresentados valores de medianas de Coerência para os 8 pares simétricos avaliados: Par 1 (Fp1- Fp2), Par 2 (F7- F8), Par 3 (F3 - F4), Par 4 (T3 -T4), Par 5 (C3 - C4), Par 6 (T5 - T6), Par 7 (P3 - P4), Par 8 (O1 - O2), para cada ritmo Delta (D), Teta (T), Alfa (A), Beta (B), Gama (G) e Super Gama (SG) e para situação de silêncio (S) e música (M). Analisando os valores de Coerência por pares de eletrodos, nota-se que os valores de FP1 - FP2 são relativamente altos em todos os ritmos, e a maior diferença de aumento ocorre no ritmo Beta: 0,30 (S) – 0,33 (M). No ritmo Delta, observou-se um maior aumento nos valores de Coerência: de 0,21 (S) para 0,27 (M), T3 – T4 e 0,33 para 0,39 (M), O1 – O2. E, para as altas frequências, o ritmo Gama só obteve aumento no par O1 – O2 de 0,33 (S) para 0,38 (M), já no ritmo Super Gama, a maior diferença foi de 0,33 (S) para 0,38 (M). No par de eletrodos F7 – F8, os menores valores absolutos de Coerência foram registrados entre todos os pares analisados. E, no par T5 – T6, a variação ocorreu aumento apenas no ritmo Super Gama, com

valores de 0,21 (S) para 0,23 (M). Por outro lado, nos pares C3 – C4 e P3 – P4, não houve aumento nos valores de Coerência para nenhum dos ritmos analisados.

A Tabela 6 apresenta os valores de VAP e a análise estatística correspondente, destacando que, especialmente para os ritmos Delta, Beta e Gama, há uma diferença relevante na Coerência sob estímulo musical em pacientes comatosos. Observa-se que aproximadamente 60% dos valores medianos de Coerência são diminuídos quando na presença de estímulo musical, indicando uma possível relação entre o estímulo musical e a alteração no espectro de potência do sinal EEG de pacientes comatosos, especialmente nos hemisférios cerebrais direito e esquerdo. Essa observação é reforçada pelo fato de que cerca de 70% das diferenças estatisticamente significativas na Coerência ocorreram devido à sua redução com o estímulo musical, conforme demonstrado na Tabela 5.

Como resultados da variação percentual da mediana para a Coerência tem-se os valores que estão apresentados na Tabela 5. Esse cálculo foi realizado para todos os ritmos e eletrodos, determinando as médias correspondentes para cada combinação de eletrodo e ritmo cerebral, apresentados na Tabela, no qual estão dispostos todos os valores de variação percentual. A maior diferença significativa no teste comparativo e maior variação percentual foi nos pares de eletrodos F7 – F8 e P3 – P4, isso indica que apresentam maior sensibilidade à música em termos de Coerência e variação percentual.

Tabela 5 – Valores das Medianas de Coerência para silêncio e música.

<b>E</b>	<b>SIT.</b>	<b>D</b>	<b>T</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>G</b>	<b>SG</b>
FP1-FP2	S	0,41	0,40	0,38	0,30	0,32	0,33
	M	0,43	0,40	0,38	0,33	0,32	0,34
F7-F8	S	0,26	0,20	0,18	0,18	0,24	0,21
	M	0,23	0,21	0,14	0,16	0,23	0,24
F3-F4	S	0,40	0,33	0,30	0,30	0,38	0,36
	M	0,40	0,35	0,33	0,30	0,36	0,36
T3-T4	S	0,21	0,20	0,18	0,19	0,23	0,23
	M	0,27	0,18	0,18	0,17	0,25	0,24
C3-C4	S	0,45	0,39	0,37	0,37	0,40	0,39
	M	0,42	0,37	0,35	0,33	0,37	0,37
T5-T6	S	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21
	M	0,18	0,17	0,20	0,19	0,21	0,23
P3-P4	S	0,47	0,48	0,44	0,43	0,47	0,45
	M	0,45	0,42	0,38	0,37	0,42	0,39
O1-O2	S	0,33	0,34	0,36	0,34	0,33	0,33
	M	0,39	0,34	0,33	0,34	0,38	0,38

Onde: E – Eletrodos; SIT. - Situação; D – Delta; T – Teta; A – Alfa; B – Beta; G – Gama; SG – Super Gama; S – Silêncio; M – Música.

Observa-se que o ritmo Delta registrou o maior número de pares de eletrodos com variações percentuais elevadas, mas foi o ritmo Beta que exibiu a média mais alta de variação. O par de eletrodos P3 – P4, que apresentou a maior quantidade de variações percentuais elevadas, também teve a maior média de variação percentual. Já para os ritmos, o Alfa apresentou a maior tendência de redução da média de Coerência com o estímulo musical, seguido pelos ritmos Teta e Beta. Por outro lado, o ritmo Super Gama mostrou a menor tendência de redução da média. Os pares de eletrodos C3 - C4 e P3 - P4 tiveram a maior redução da média de Coerência, seguidos pelos pares F7 - F8 e T5 - T6.

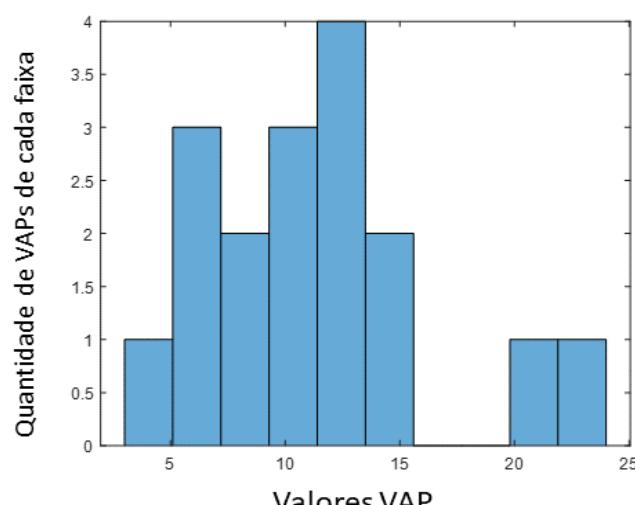
Tabela 6 – Valores de VAP obtidos para cada par de eletrodos e ritmo cerebral.

E	D	T	A	B	G	SG
FP1 - FP2	5,32	1,38	0,26	<b>10,41</b>	2,09	2,37
F7 - F8	<b>13,19</b>	3,93	<b>20,09</b>	<b>8,67</b>	<b>3,92</b>	<b>11,35</b>
F3 - F4	1,24	4,82	8,43	0,04	<b>5,58</b>	0,58
T3 - T4	<b>23,51</b>	<b>13,45</b>	1,85	<b>7,75</b>	<b>6,08</b>	<b>4,67</b>
C3 - C4	6,15	4,80	4,52	<b>9,36</b>	<b>5,34</b>	3,19
T5 - T6	2,03	<b>10,69</b>	0,51	<b>8,72</b>	1,49	7,20
P3 - P4	<b>5,18</b>	<b>11,77</b>	12,64	<b>14,53</b>	<b>10,65</b>	<b>13,53</b>
O1 - O2	<b>15,33</b>	4,02	8,76	2,73	<b>12,06</b>	<b>15,34</b>

Onde: E – Eletrodos; D – Delta; T – Teta; A – Alfa; B – Beta; G – Gama; SG – Super Gama

Obs: Casas destacadas em azul indicam diferenças estatísticas significativas (p-valor < 0,05).

Imagen 3 – Histograma de VAP considerando apenas regiões cujo p-valor < 0,05 para Coerência.



Fonte: a autora.

Em relação aos valores de VAP, o histograma da Imagem 3 revela que apenas 35% dos pares de eletrodos apresentaram VAPs significativos ( $p < 0,05$ ), conforme também indicado na Tabela 6. A variação máxima desses valores não ultrapassou 25, com maior concentração na faixa de 10 a 15, o que indica que as alterações percentuais mais frequentes estão nesse intervalo intermediário. As faixas de 1 a 5 e de 20 a 25 apresentaram apenas um caso cada, sugerindo que variações muito pequenas ou muito elevadas foram menos recorrentes. Além disso, não houve registros de VAPs significativos na faixa de 16 a 20, reforçando a tendência de concentração em faixas inferiores a 20.

#### **4.2.1 Discussão Coerência**

Portanto, os principais resultados referentes às medianas de Coerência durante os estímulos indicaram valores elevados em todos os ritmos, com destaque para o ritmo Beta, que apresentou as maiores médias. Entre as altas frequências, o ritmo Super Gama evidenciou o maior aumento de Coerência, enquanto o ritmo Gama apresentou aumento apenas no par de eletrodos O1–O2. Alguns pares mostraram elevação nos valores de Coerência, como F3–F4 para os ritmos Alfa e Teta. Em contrapartida, os pares C3–C4 e P3–P4 registraram as maiores reduções de média, seguidos por F7–F8 e T5–T6.

O ritmo Delta foi o que apresentou o maior número de pares com variações expressivas, enquanto o ritmo Beta apresentou a maior média de variação. Em relação aos valores de VAP, a maior concentração ocorreu na faixa de 10 a 15, com predominância de valores abaixo de 20. Além disso, os ritmos Beta e Gama se destacaram com a maioria dos pares de eletrodos apresentando VAPs estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ). Também, o ritmo Super Gama obteve resultados relevantes, com 50% dos pares de eletrodos apresentando significância estatística.

Os pares de eletrodos que apresentaram maior redução na Coerência, como C3–C4 e P3–P4, estão situados em regiões associadas ao processamento sensorial e motor. A análise dessas áreas pode fornecer importantes indicadores sobre o potencial de recuperação neurológica. O estudo de Ramos et al. (2018) identificou uma tendência à diminuição média dos valores de Coerência em pacientes em coma, especialmente nos pares F7–F8 e P3–P4, com destaque para os ritmos Beta e Gama. Complementarmente, Ramos (2021) reforça que valores reduzidos de Coerência estão correlacionados a prognósticos menos favoráveis em pacientes comatosos. Por outro lado, alterações significativas na Coerência ao longo da internação podem sinalizar possíveis caminhos de recuperação. Ainda segundo Ramos (2021), a redução da Coerência na presença de estímulos musicais pode indicar que ritmos cerebrais predominantes

no estado de coma, especialmente os mais lentos, apresentam respostas distintas quando comparados à ausência de estímulos, sugerindo a relevância da estimulação musical como ferramenta terapêutica.

Os resultados obtidos indicam que a estimulação musical promove uma redução da Coerência cerebral em aproximadamente 60% dos casos, especialmente nos ritmos Delta, Alfa e Beta. Essa diminuição pode refletir uma reorganização ou modulação da conectividade funcional entre os hemisférios cerebrais, favorecendo uma reestruturação neural mais adaptativa em pacientes comatosos. Os valores elevados de VAP observados nos ritmos Delta e Beta sugerem que a música pode influenciar diretamente circuitos cerebrais relacionados ao estado de consciência e aos processos atencionais. O ritmo Delta, comumente associado a estados profundos de inconsciência, apresentou o maior número de pares de eletrodos com variações percentuais significativas. Já o ritmo Beta, vinculado à atenção e à cognição, apresentou a maior média geral de VAP.

De acordo com Lancioni et al. (2021), a estimulação musical pode aumentar a plasticidade cerebral em pacientes com distúrbios de consciência (DoC), promovendo alterações nas bandas de frequência mais rápidas (Alfa, Beta e Gama) e redução das frequências mais lentas (Delta e Teta). Esses efeitos se associam ao aumento da atividade nas regiões frontais, temporais e parietais, favorecendo a conectividade neural e potencialmente acelerando os processos de recuperação funcional nesses pacientes.

No capítulo seguinte, a Discussão Geral integrará os resultados apresentados, relacionando-os com os quantificadores processados. Será realizada uma síntese das respostas neuronais aos estímulos musicais, destacando as semelhanças e as recorrências mais frequentes. A comparação entre os resultados obtidos com os achados de estudos anteriores também será abordada, visando uma compreensão mais aprofundada dos efeitos da estimulação musical no cérebro e suas implicações para a prática clínica e terapêutica.

## 5 DISCUSSÃO GERAL

Com base na análise dos resultados, observa-se que, para a mediana de PCP, houve um aumento nos valores durante a estimulação musical, em comparação à condição de silêncio, sendo esse aumento mais evidente nos ritmos Delta e Gama. Por outro lado, para o quantificador Coerência, a diferença observada indicou um aumento mais pronunciado nos ritmos Beta e Gama.

Em relação aos eletrodos, no caso do PCP, o aumento foi mais concentrado nos eletrodos associados ao ritmo Delta, como T3, T6, O1 e OZ, bem como nos eletrodos do ritmo Teta, como C3, OZ e CZ. Já para o quantificador Coerência, o maior aumento foi observado nos pares de eletrodos T3 – T4 e O1 – O2 no ritmo Delta, enquanto no ritmo Beta, esse aumento foi mais relevante nos pares FP1 – FP2. No ritmo Gama, os maiores aumentos de Coerência ocorreram nos pares T3 – T4 e O1 – O2.

Destaca-se que o ritmo Delta apresentou a maior quantidade de pares de eletrodos com variações percentuais mais elevadas, enquanto o ritmo Beta exibiu a maior média de variação percentual. O par de eletrodos P3 – P4 se destacou por apresentar tanto a maior quantidade de valores com significativa variação percentual quanto a maior média de variação. Em relação aos ritmos, o ritmo Alfa demonstrou a maior tendência de redução na média de Coerência na presença de estímulo musical, seguido pelos ritmos Teta e Beta.

Em relação à concentração de potência, as topografias indicaram que nos ritmos Beta e Gama a maior concentração ocorreu nas regiões temporal e parietal. Durante o silêncio, essa concentração estava mais evidente nos eletrodos da região parieto-occipital esquerda, enquanto na estimulação musical, houve um deslocamento para o hemisfério direito. Para o ritmo Gama, a concentração de potência foi mais acentuada do que para Beta, conforme observado pelos valores das medianas.

Em relação aos valores significativos de VAP, a distribuição das variações percentuais se concentrou principalmente em uma faixa intermediária de 10 a 20 para PCP e 10 a 15 para Coerência. Para ambos os quantificadores, a variação máxima dos valores significativos não ultrapassou 25, com as faixas extremas apresentando variações menos comuns. No geral, os valores de PCP e Coerência se concentraram abaixo de 20, sendo que, especificamente para Coerência, não foram observados VAPs significativos na faixa de 16 a 20.

No que diz respeito às altas frequências (Gama e Super Gama), as variações das medianas foram em torno de 50%, relativamente mais baixas quando comparadas aos outros ritmos. O ritmo Gama se destacou por apresentar o maior número de p-valores significativos nos dois quantificadores, com relevância particularmente na Coerência.

Esses resultados são sumarizados na Tabela 7, que apresenta uma visão geral das principais variações observadas nos quantificadores PCP e Coerência, destacando os ritmos e eletrodos com maiores alterações. A análise dos dados sugere uma relação entre a estimulação musical e a modulação da atividade cerebral, com implicações potenciais para a compreensão de como a música pode afetar a conectividade neural em contextos terapêuticos.

Tabela 7 – Resumo resultados encontrados.

QUANT.	VAP	RITMOS	ELETRODOS	REGIÕES CEREBRAIS
PCP	Faixa de 10 a 20; Valores abaixo de 20	Delta Teta Gama	T3, T6, O1, OZ F2, F4, C3, OZ, CZ F4, F8, T4, P4, T6	Temporal e Occipital Frontal Temporal e Parietal
	Faixa de 10 a 15; Valores abaixo de 20;	Delta Beta	T3 – T4 O1 – O2 FP1 – FP2	Temporal e Occipital Frontal
	Sem valores na faixa de 16 a 20	Gama	T3 – T4 O1 – O2	Temporal e Occipital
COERÊNCIA	Faixa de 10 a 15; Valores abaixo de 20;	Delta Beta	T3 – T4 O1 – O2	Temporal e Occipital
	Sem valores na faixa de 16 a 20	Gama	T3 – T4 O1 – O2	Temporal e Occipital

Fonte: a autora.

No próximo capítulo, discute-se de forma geral as implicações dos resultados obtidos, destacando suas contribuições para a compreensão dos processos cerebrais em estados de coma e a importância da estimulação musical no tratamento e recuperação funcional. Além disso, será explorada a relação entre os achados deste estudo e as pesquisas existentes na área, com foco em como esses resultados podem influenciar práticas clínicas e terapêuticas. Também serão discutidas as possíveis direções para futuros estudos, explorando novos métodos de intervenção, quantificadores e ampliação do uso da estimulação musical.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados indicam que estimulação musical pela sonata Mozart impactou os valores do quantificador PCP e da Coerência entre eletrodos em diferentes ritmos cerebrais, com efeitos mais evidentes nos ritmos cerebrais, como nos ritmos Delta e Gama. Embora a maioria dos eletrodos tenha apresentado um aumento de PCP na condição de estímulo musical, a variação percentual da mediana foi relativamente baixa para os ritmos, com destaque em Teta e Gama. Já a Coerência revelou que Delta obteve maior variação de mediana e os pares de eletrodo F7 – F8 e P3 – P4 foram os mais sensíveis à música, apresentando maiores variações percentuais. Além disso, observou-se que aproximadamente 60% dos valores medianos de Coerência diminuíram sob estímulo musical em pacientes comatosos, com 70% das diferenças estatisticamente significativas associadas à redução da Coerência. O histograma de VAP reforçou que apenas uma pequena fração dos eletrodos exibiu mudanças estatisticamente significativas, sendo a maioria concentradas em faixas intermediárias de variação percentual. Para as altas frequências (Gama e Super Gama), a variação mediana ficou abaixo em relação aos outros ritmos, mesmo estando em torno de 50% nos eletrodos, e, o ritmo Gama foi o que obteve mais p-valores significativos nos dois quantificadores, sendo na Coerência relevante. No geral, os achados sugerem que a estimulação musical pode modular a atividade cerebral, mas os efeitos estatisticamente significativos são limitados a algumas regiões e ritmos específicos.

A relevância do estudo ser realizado no setor da UTI/HCU, é a melhoria da qualidade de vida dos pacientes comatosos em um contexto SUS, com a utilização do EEG para análise quantitativa dos efeitos da estimulação musical. Essa ferramenta útil para auxiliar profissionais da saúde nas previsões de diagnóstico e prognóstico, evitando interrupção ou prolongamentos desnecessários do tratamento na UTI, como também ajudando a reabilitação desses pacientes comatosos. Outro ponto é a utilização do quantificador Coerência, que de conhecimento da autora não foi encontrado na literatura estudos que utilizam como ferramenta, e é um método matemático importante por detectar a frequência e amplitude da sincronia dos padrões neurais. Dessa forma, este estudo não apenas preenche uma lacuna na literatura ao avaliar quantificador pouco explorado, como também abre caminho para futuras pesquisas que aprofundem os efeitos da estimulação musical no contexto brasileiro.

Embora este estudo tenha fornecido importantes aplicações, é preciso que trabalhos futuros ampliem a quantidade de registros a serem avaliados devido à dificuldade de análise quantitativa do sinal EEG para amostras pequenas. Além disso, analisar outros quantificadores a nível de comparação estatística e avaliar os outros trechos realizados no protocolo de

estimulação. Aprimorar trabalhos em alta frequência, uma vez que esses ritmos não são avaliados no dia a dia clínico do paciente, além de que, como visto na literatura, ritmos acima de 30 Hz são pouco estudados quantitativamente. Como também aplicar ferramentas de Machine Learning e Inteligência Artificial com objetivo verificar padrões prognósticos e de neurorreabilitação.

## REFERÊNCIAS

- ALNES, S. L. et al. Complementary roles of neural synchrony and complexity for indexing consciousness and chances of surviving in acute coma. **NeuroImage**, v. 245, 15 dez. 2021.
- ALTINTOP, Ç. G. et al. Quantitative Electroencephalography Analysis for Improved Assessment of Consciousness Levels in Deep Coma Patients Using a Proposed Stimulus Stage. **Diagnostics**, v. 13, n. 8, 1 abr. 2023.
- AMIRI, M. et al. Multimodal prediction of residual consciousness in the intensive care unit: the CONNECT-ME study. **Brain**, v. 146, n. 1, p. 50–64, 1 jan. 2023.
- BOLTZMANN, M. et al. Auditory Stimulation Modulates Resting-State Functional Connectivity in Unresponsive Wakefulness Syndrome Patients. **Frontiers in Neuroscience**, v. 15, 16 fev. 2021.
- BRUN, F. K. et al. Comparison of Glasgow Coma Scale and Full Outline of UnResponsiveness score to assess the level of consciousness in patients admitted to intensive care units and emergency departments: A quantitative systematic review. **Australian Critical Care**, 1 jan. 2024.
- CARRIÈRE, M. et al. An Echo of Consciousness: Brain Function during Preferred Music. **Brain Connectivity**, v. 10, n. 7, p. 385–395, 1 set. 2020.
- CASTRO, M. et al. Boosting Cognition with Music in Patients with Disorders of Consciousness. **Neurorehabilitation and Neural Repair**, v. 29, n. 8, p. 734–742, 27 set. 2015.
- CHAHRAOUI, K. et al. Psychological experience of patients 3 months after a stay in the intensive care unit: A descriptive and qualitative study. **Journal of Critical Care**, v. 30, n. 3, p. 599–605, 1 jun. 2015.
- CHEN, L. et al. Use of music to enhance sleep and psychological outcomes in critically ill patients: A protocol for a systematic review and meta-analysis. **BMJ Open**, 10 maio 2021.

CLÁUDIA, A. et al. A percepção auditiva nos pacientes em estado de coma: uma revisão bibliográfica. [s.l.: s.n.].

COBB, W. A. Evolution of clinical neurophysiology since Hans Berger, the past 40 years of EEG. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**, v. 27, n. 7, p. 648–649, set. 1969.

COSTA, G. P. Base de dados em eletroencefalografia (EEG). [s.l.: s.n.], 2022.

EBERSOLE, J. S.; PEDLEY, T. A. **Current practice of clinical electroencephalography**. 3. ed. Philadelphia: Lippincott, [s.d.].

EDLOW, B. L. et al. Recovery from disorders of consciousness: mechanisms, prognosis and emerging therapies. **Nature Reviews Neurology**, 1 mar. 2021.

FREEMAN, W.; QUIROGA, R. Q. **Imaging brain function with EEG: advanced temporal and spatial analysis of electroencephalographic signals**. 1. ed. New York: Springer Science, [s.d.].

FROUTAN, R. et al. The effect of music therapy on physiological parameters of patients with traumatic brain injury: A triple-blind randomized controlled clinical trial. **Complementary Therapies in Clinical Practice**, v. 40, 1 ago. 2020.

GLOOR, P. Hans Berger on Electroencephalography. **American Journal of EEG Technology**, v. 9, n. 1, p. 1–8, 23 mar. 1969.

GRIMM, T.; KREUTZ, G. Music interventions and music therapy in disorders of consciousness – A systematic review of qualitative research. **Arts in Psychotherapy**, 1 jul. 2021.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica**. 11. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

HH, JASPER. The ten-twenty electrode system of the international federation. **Electroenceph clin Neurophysiol**, v. 10, p. 367–380, 1958.

HOFMEIJER, J. et al. Early EEG contributes to multimodal outcome prediction of postanoxic coma. [s.l.: s.n.].

HOSEINI, S. H. et al. Effectiveness of auditory sensory stimulation on level of consciousness and cognitive function in traumatic brain injury patients: A randomized controlled clinical trial. **Nursing Practice Today**, v. 9, n. 4, p. 349–359, 1 set. 2022.

HU, Y. et al. Can Music Influence Patients With Disorders of Consciousness? An Event-Related Potential Study. **Frontiers in Neuroscience**, v. 15, 9 abr. 2021.

JAIN, R.; RAMAKRISHNAN, A. G. Electrophysiological and Neuroimaging Studies – During Resting State and Sensory Stimulation in Disorders of Consciousness: A Review. **Frontiers in Neuroscience**, 15 set. 2020.

JONAS, S. et al. EEG-based outcome prediction after cardiac arrest with convolutional neural networks: Performance and visualization of discriminative features. **Human Brain Mapping**, v. 40, n. 16, p. 4606–4617, 1 nov. 2019.

JUN, J.; KAPELLA, M. C.; HERSHBERGER, P. E. Non-pharmacological sleep interventions for adult patients in intensive care units: A systematic review. **Intensive and Critical Care Nursing**, 1 dez. 2021.

KAFASHAN, M. M. et al. EEG dynamical correlates of focal and diffuse causes of coma. **BMC Neurology**, v. 17, n. 1, 15 nov. 2017.

KAKAR, E. et al. Music intervention for sleep quality in critically ill and surgical patients: A meta-analysis. **BMJ Open**, v. 11, n. 5, 10 maio 2021.

KARPENKO, A.; KEEGAN, J. Diagnosis of Coma. **Emergency Medicine Clinics of North America**, 1 fev. 2021.

KELLER, I.; GARBACENKAITE, R. Neurofeedback in three patients in the state of unresponsive wakefulness. **Applied Psychophysiology and Biofeedback**, v. 40, n. 4, p. 349–356, 1 dez. 2015.

KOIZUMI, M. S.; ARAÚJO, G. L. Escala de Coma de Glasgow - subestimação em pacientes com respostas verbais impedidas. **Acta Paulista de Enfermagem**. [s.l.]: [s.n.], [s.d.].

LANCIONI, G. E. et al. Music stimulation for people with disorders of consciousness: A scoping review. **Brain Sciences**, 1 jul. 2021.

LIN, L. C. et al. Mozart K.448 and epileptiform discharges: Effect of ratio of lower to higher harmonics. **Epilepsy Research**, v. 89, n. 2–3, p. 238–245, maio 2010.

LIU, Z. et al. The predicted value of EEG reactivity with impaired consciousness patients: A systematic review and meta-analysis. [s.l.]: [s.n.], 6 mar. 2023.

MICHEL, C. M.; MURRAY, M. M. Towards the utilization of EEG as a brain imaging tool. **NeuroImage**, jun. 2012.

MILLETT, D. Hans Berger: from psychic energy to the EEG. **Perspectives in Biology and Medicine**, v. 44, n. 4, p. 522–542, 2001.

MIRANDA, M.; HAZARD, S.; MIRANDA, P. La música como una herramienta terapéutica en medicina. **Revista Chilena de Neuro-Psiquiatría**. [s.l.]: [s.n.].

MONTGOMERY, D.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

NIEDERMEYER, E.; SILVA, F. L. da. **Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields**. 5. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2005.

PLUM, F.; POSNER, J. B. **The diagnosis of stupor and coma**. USA: Oxford University Press, 1982.

PUGGINA, A. C. G.; DA SILVA, M. J. P. Patients with disorders of consciousness: vital, facial and muscular responses to music or messages. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 68, n. 1, 1 jan. 2015.

RAMOS, C. D. Caracterização do eletroencefalograma normal em situação de vigília: elaboração da base de dados e análise quantitativa. [s.l.: s.n.].

RAMOS, C. D. et al. Quantitative Analysis of EEG Records in Distinct States of Consciousness: A Case Study on Brazilian Patient. **IEEE Latin America Transactions**, v. 16, n. 7, p. 1878–1883, jul. 2018.

RAMOS, C. D.; DESTRO-FILHO, J. B. Measurements of coherence in EEG signal in Brazilian people: A comparison of different consciousness states. **Bioscience Journal**, v. 37, 12 jan. 2021.

ROLLNIK, J. D.; ALTENMÜLLER, E. Music in disorders of consciousness. **Frontiers in Neuroscience**, 2014.

SCHEY, J. E.; SCHOCH, M.; KERR, D. The Predictive Validity of the Full Outline of UnResponsiveness Score Compared to the Glasgow Coma Scale in the Intensive Care Unit: A Systematic Review. **Neurocritical Care**, 5 nov. 2024.

SHIH, C. Y. et al. Comparative efficacy of nonpharmacological interventions on sleep quality in people who are critically ill: A systematic review and network meta-analysis. **International Journal of Nursing Studies**, v. 130, 1 jun. 2022.

SÖRNMO, L.; LAGUNA, P. **Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications**. Academic Press, 1. ed. [s.l.: s.n.].

SUN, J.; C. W. Musicoterapia para pacientes em coma: resultados preliminares. **European Review for Medical and Pharmacological Sciences**, v. 19, 2015.

SWARTZ, B. E. The advantages of digital over analog recording techniques. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**, v. 106, n. 2, p. 113–117, 25 fev. 1998.

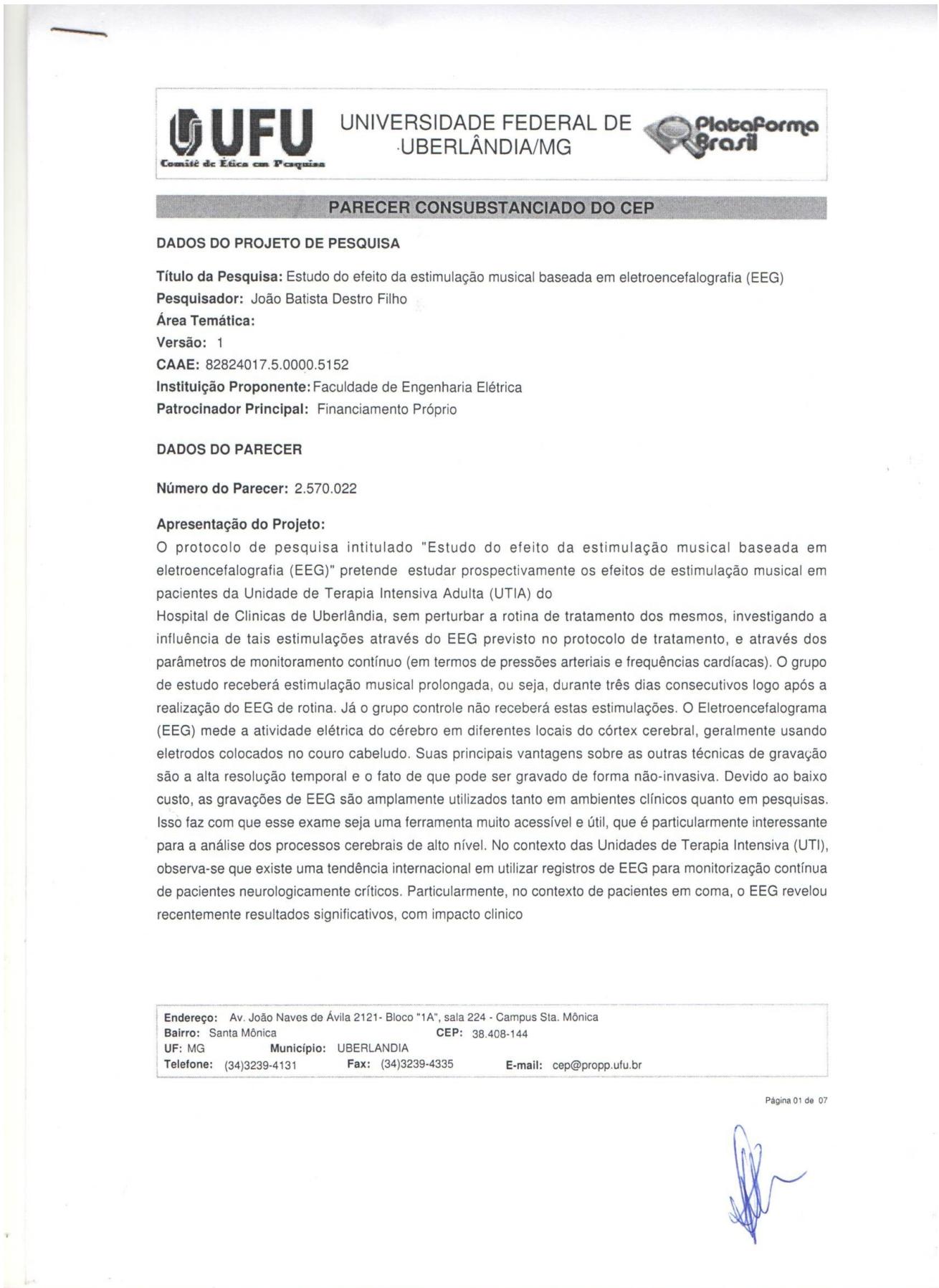
SZIRMAI, D. et al. EEG connectivity and network analyses predict outcome in patients with disorders of consciousness – A systematic review and meta-analysis. **Helion**, v. 10, n. 10, 30 maio 2024.

WIJDICKS, E. F. M. Management of the comatose patient. In: **Handbook of Clinical Neurology**. [S.l.]: Elsevier B.V., 2017. v. 140, p. 117–129.

WU, M. et al. Effect of acoustic stimuli in patients with disorders of consciousness: A quantitative electroencephalography study. **Neural Regeneration Research**, v. 13, n. 11, p. 1900–1906, 2018.

YANG, X. AI et al. Prognostic roles of sleep electroencephalography pattern and circadian rhythm biomarkers in the recovery of consciousness in patients with coma: a prospective cohort study. **Sleep Medicine**, v. 69, p. 204–212, 1 maio 2020.

## **ANEXO 1 – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**



**Endereço:** Av. João Naves de Ávila 2121- Bloco "1A", sala 224 - Campus Sta. Mônica

Endereço: Av. João I  
Bairro: Santa Mônica

CEP: 38.408-144

Bairro:  
UF: MG

Município: LIBERLANDIA

UF: MG  
Telefone: (34)3239-4131

UBERLANDIA  
Fax: (34)3239-4335

E-mail: [cen@propp.ufu.br](mailto:cen@propp.ufu.br)

100