



CATÓLICA  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO  
E PSICOLOGIA

---

PORTO

*UM ESTUDO DE VIABILIDADE SOBRE O USO COMBINADO  
DE NEUROFEEDBACK E fNIRS NA ANSIEDADE DE  
PERFORMANCE MUSICAL*

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa para obtenção do grau de  
mestre em Psicologia

- Especialização em Psicologia Clínica e da Saúde -

Henrique Gomes Santos

Porto, setembro 2024



CATÓLICA  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO  
E PSICOLOGIA

---

PORTO

*UM ESTUDO DE VIABILIDADE SOBRE O USO COMBINADO  
DE NEUROFEEDBACK E fNIRS NA ANSIEDADE DE  
PERFORMANCE MUSICAL*

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa para obtenção do grau de  
mestre em Psicologia

- Especialização em Psicologia Clínica e da Saúde -

Henrique Gomes Santos

Trabalho efetuado sob orientação de  
Prof<sup>a</sup>. Doutora Patrícia Oliveira-Silva

Porto, setembro 2024

Este estudo é parte do projeto MUS-A, ‘Ansiedade na Performance Musical – Adolescentes’, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (REF.: 2022.05771.PTDC) que contou com a aprovação por parte da Comissão de Ética em Tecnologias, Ciências Sociais e Humanidades (CETCH) cuja referência é CETCH2023-33.

## **Agradecimentos**

Gostaria de expressar, inicialmente, à minha família, pais, irmão e avós, a minha gratidão pelo apoio constante e incentivo ao longo desta jornada. Em especial aos meus pais, pelo esforço, suporte e por me proporcionarem a oportunidade de poder estudar sempre nas melhores condições, fazendo com que o meu crescimento possa ser sempre tão grande quanto possível. Obrigado por estarem sempre ao meu lado em cada passo.

Gostaria de expressar a minha gratidão à Prof<sup>ª</sup> Doutora Patrícia Oliveira-Silva, a minha orientadora, cuja orientação e encorajamento foram fundamentais para a realização desta investigação. O seu conhecimento e dedicação forneceram uma base sobre a qual este trabalho foi construído, como também as suas valiosas sugestões e feedback contínuo ajudaram-me a guiar ao longo de cada etapa do processo.

Também ao Doutor Pedro Ribeiro, um enorme obrigado pela paciência e pelo tempo dedicado, sempre pronto para esclarecer dúvidas, fornecer insights críticos e motivar-me a alcançar o melhor resultado possível. A generosidade com que partilhou o seu conhecimento e experiências foi essencial. Obrigado a si também pela orientação.

Por fim, a todos os meus amigos que participaram nesta investigação, e que de uma ou de outra forma contribuíram para a realização da mesma, o meu profundo agradecimento. Aos meus amigos, tanto os que me acompanharam ao longo desta longa caminhada que começou na licenciatura e que agora termina, quanto aos que conheci neste mestrado. Obrigado por serem presentes e por partilharem comigo esta linda jornada académica. Fizeram com que a mesma fosse especial. Para trás, ficam todas as memórias, momentos e fases partilhadas que guardo para sempre comigo. Abraço para todos.

## Resumo

A ansiedade de performance musical é um fenómeno que afeta os músicos em situações nas quais o seu desempenho musical é ou pode ser avaliado, podendo trazer prejuízos para a própria performance. Este estudo de viabilidade procura contribuir para a preparação de futuros protocolos de investigação mais extensos e que utilizem a mesma tecnologia e abordagem, fornecendo dados críticos para o refinamento de metodologias.

Com efeito, foi formulado e aplicado um protocolo de Neurofeedback associado a fNIRS (functional Near-Infrared Spectroscopy) a 13 músicos portugueses, amadores e profissionais, com idades entre 18 e os 29 anos. O protocolo consistia, numa primeira fase, na realização de uma tarefa de linha de base, onde era pedido aos participantes que procurassem relaxar antes da primeira atuação. Ambas as atuações contavam com a presença de um júri virtual. De seguida, deu-se início à sessão de Neurofeedback, que compreendia a realização de três tarefas com diferentes intuitos e dificuldades, acompanhadas por um termómetro emocional, que os participantes tinham de manter dentro dos parâmetros indicados na imagem. Por fim, os músicos foram convidados a realizar uma segunda atuação, também na presença do mesmo júri virtual, mas com uma nuance diferente, as câmaras dos júris encontravam-se desligadas.

Apesar dos resultados não se mostrarem significativos devido à reduzida amostra, que impede a sua generalização, os mesmos poderão ser tidos em conta para fornecer insights valiosos no desenvolvimento de intervenções eficazes com a mesma técnica.

O presente estudo não só abre novas portas para a melhor compreensão do Neurofeedback associado a fNIRS, como contribui para otimizar futuras intervenções que utilizem a mesma abordagem na ansiedade de performance musical.

**Palavras-chave:** Ansiedade de performance musical; Neurofeedback; fNIRS.

## Abstract

Performance anxiety is a phenomenon that affects musicians in situations where their musical performance is or can be assessed and can be detrimental to their performance. This feasibility study aims to contribute to the preparation of future, more extensive research protocols that use the same technology and approach, providing critical data for the refinement of methodologies.

In effect, a Neurofeedback protocol associated with fNIRS (functional Near-Infrared Spectroscopy) was formulated and applied to 13 Portuguese musicians, amateurs and professionals, aged between 18 and 29 years. The protocol consisted, in a first phase, of carrying out a baseline task, in which participants were asked to try to relax before the first performance. Both performances were attended by a virtual jury. Next, the Neurofeedback session began, which involved performing three tasks with different purposes and difficulties, accompanied by an emotional thermometer, which the participants had to keep within the parameters indicated in the image. Finally, the musicians were invited to perform a second performance, also in the presence of the same virtual jury, but with a different twist: the jury's cameras were turned off.

Although the results were not significant due to the small sample size, which prevents their generalization, they can be considered to provide valuable insights in the development of effective interventions with the same technique.

The present study not only opens new doors for a better understanding of Neurofeedback associated with fNIRS, but also contributes to optimizing future interventions that use the same approach in music performance anxiety.

**Keywords:** Music Performance Anxiety; Neurofeedback; fNIRS.

# Índice

<b>Resumo</b> .....	iv
<b>Abstract</b> .....	v
<b>Introdução</b> .....	1
<b>Enquadramento Teórico</b> .....	3
Ansiedade de Performance Musical - Conceptualização e Estado da Arte .....	3
Integração do Neurofeedback com fNIRS .....	6
<b>Método</b> .....	9
Objetivos específicos .....	9
Hipóteses .....	9
Amostra .....	9
Instrumentos .....	12
<i>Questionário Sociodemográfico</i> .....	12
<i>Júri Simulado</i> .....	12
<i>Instrumentos Fisiológicos</i> .....	13
Protocolo .....	14
<i>Fase 1 (Pré-Laboratório)</i> .....	14
<i>Fase 2 (Laboratório)</i> .....	15
<i>Fase 3 (Pós-laboratório)</i> .....	16
Protocolo de Análise de Dados .....	16
<i>Métricas de Análise de Dados de fNIRS</i> .....	16
<i>Procedimento Geral de Análise</i> .....	18
<b>Resultados</b> .....	19
<b>Discussão e Conclusão</b> .....	30
Limitações do estudo .....	32
Contribuições futuras .....	33
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	34

## Índice de Figuras

**Figura 1.** Configuração da touca fNIRS. S1 a S8 representam as fontes fNIRS e D1 a D7 representam os detetores fNIRS (adaptado a partir do NIRSite 2.0 - <https://nirx.net/nirsite>).

**Figura 1.** Boxplot comparativo entre a energia da linha de base e a energia da condição neutra na primeira atuação musical.

**Figura 3.** Boxplot comparativo entre a entropia espectral da linha de base e a entropia espectral da condição neutra na primeira atuação musical.

**Figura 4.** Boxplot comparativo entre a energia da linha de base e a energia da condição neutra na segunda atuação musical.

**Figura 5.** Boxplot comparativo entre a entropia espectral da linha de base e a entropia espectral da condição neutra na segunda atuação musical.

**Figura 6.** Boxplot comparativo entre a energia da condição neutra da primeira atuação e a energia da condição neutra da segunda atuação musical.

**Figura 7.** Boxplot comparativo entre a entropia espectral da condição neutra da primeira atuação e a entropia espectral da condição neutra da segunda atuação musical.

**Figura 8.** Boxplot comparativo entre a energia da linha de base e a energia da condição aversiva na primeira atuação musical.

**Figura 9.** Boxplot comparativo entre a entropia espectral da linha de base e a entropia espectral da condição aversiva na primeira atuação musical.

**Figura 10.** Boxplot comparativo entre a energia da linha de base e a energia da condição aversiva na segunda atuação musical.

**Figura 11.** Boxplot comparativo entre a entropia espectral da linha de base e a entropia espectral da condição aversiva na segunda atuação musical.

**Figura 12.** Boxplot comparativo entre a energia da condição aversiva da primeira atuação e a energia da condição aversiva da segunda atuação musical.

**Figura 13.** Boxplot comparativo entre a entropia espectral da condição aversiva da primeira atuação e a entropia espectral da condição aversiva da segunda atuação musical.

## Índice de Siglas e Acrónimos

- APM** – Ansiedade de Performance Musical
- BFDK** - Biofeedback
- EDA** - Atividade eletrodérmica
- EE** – Entropia Espectral
- EEG** - Eletroencefalograma
- fMRI** - Imagens de ressonância magnética funcional
- fNIRS** – functional Near-Infrared Spectroscopy
- GLM** - Modelo Linear Generalizado
- HbO2** - Hemoglobina oxigenada
- HbR**- Hemoglobina desoxigenada
- HNL** - Human Neurobehavioral Laboratory
- IBM SPSS statistics** - Statistical Package for the Social Sciences
- IQR** - Intervalo Interquartil
- K-MPAI** - Kenny Music Performance Anxiety Inventory
- NFDK** - Neurofeedback
- NFDK-fNIRS** - Neurofeedback associado a fNIRS
- STAI** - State-Trait Anxiety Inventory

## Introdução

A música é uma das atividades mais universais e agradáveis para os seres humanos, no entanto, a realização de uma atuação musical em público exige capacidades altamente refinadas como destreza motora, memória e interpretação (Papageorgi & Kopiez, 2018). Ultimamente, verifica-se um aumento exponencial nos estudos relativos à cognição musical, com o intuito de revelar como o cérebro processa a música, tal como os efeitos potenciais que a mesma produz. A atenção que a música atraiu para a comunidade científica, decorre do potencial que esta apresenta para impulsionar o funcionamento cognitivo humano (Bigand & Tillmann, 2022). Assim, técnicas e metodologias experimentais têm sido cada vez mais desenvolvidas, no sentido de investigar os mecanismos neuronais e cognitivos subjacentes à perceção e produção musical (Zatorre, 2005).

Neste sentido, o projeto de investigação “Music Performance Anxiety – children and adolescents”, tem como objetivo a articulação de conhecimentos e saberes de diferentes disciplinas de forma a projetar, implementar e validar uma intervenção inovadora de redução da ansiedade, que seja útil para estudantes e professores de música. Desta forma, o estudo presente procura testar a viabilidade de um protocolo experimental de Neurofeedback associado a fNIRS (functional Near-Infrared Spectroscopy) na ansiedade relacionada com a performance musical. Este estudo piloto é essencial para a preparação de futuros protocolos de investigação mais extensos e que utilizem a mesma tecnologia e abordagem, fornecendo dados críticos para o refinamento de metodologias.

A ansiedade é um importante fator que nos permite estar em alerta, respondendo de forma rápida a determinados estímulos (Castillo et al., 2000). Contudo, quando os níveis de ansiedade são elevados, o bem-estar físico e psicológico e a capacidade cognitiva e motora dos indivíduos podem ser comprometidas. Ao longo do seu percurso musical, os músicos passam por diferentes experiências públicas de performance musical, que de forma direta ou indireta, podem condicionar e muitas vezes evocar diferentes respostas emocionais as quais tendem a ser difíceis de controlar. Uma destas emoções é a ansiedade, transversal a qualquer músico, independentemente da experiência profissional, do género de música interpretado, do domínio sobre a técnica instrumental, do sexo e da idade (Kenny, 2011). O aumento da ansiedade está também relacionado com a importância da performance, pois é o momento em que se demonstra o resultado de inúmeras horas de estudo, trabalho e dedicação (Kenny, 2011).

Por outro lado, a APM é caracterizada como uma experiência de apreensão angustiante e de prejuízo real das competências de desempenho em contexto público (Salmon, 1990). Surge ligada a vulnerabilidades biológicas e/ou psicológicas, manifestando-se através de combinações de sintomas afetivos, cognitivos, somáticos e comportamentais (Kenny, 2011). Tem sido associada a alterações quanto à atividade cerebral em diferentes regiões do cérebro, podendo afetar a atividade em áreas cerebrais envolvidas na regulação emocional, processamento sensorial e cognitivo, memória e atenção. Deste modo, de acordo com os autores Lars Rogenmoser et al. (2016) e Ian Daly et al. (2019), estruturas como o tálamo, a amígdala, os córtices cingulados e ainda os córtices pré-frontal, motor e auditivo são alguns dos exemplos dos correlatos cerebrais associados à APM, que também estão envolvidos no processamento das emoções.

De acordo com a literatura nesta área, vários estudos exploraram o padrão de atividade cerebral em redes implicadas na APM. No entanto, apesar de já terem sido realizados diversos estudos (Koelsch, 2014), (Mueller et al., 2011) relativos ao fenómeno, com o uso de várias técnicas das neurociências, existe um conhecimento limitado sobre a eficácia da técnica de Neurofeedback (NFDK) associada ao fNIRS, que permite monitorizar e facilitar o controlo do padrão de ativação cerebral pelo próprio sujeito na APM.

Este estudo procura assim explorar uma possível forma de mitigar a APM, propondo o uso da técnica do NFDK associado ao fNIRS. A escolha desta técnica em detrimento de outras, recai no facto de que o fNIRS permite quantificar a oxigenação cortical e a hemodinâmica, aproveitando a interação da luz infravermelha próxima com as propriedades de absorção do tecido humano (Curzel et al., 2024). Em acréscimo, esta técnica consegue alcançar um meio termo no que à resolução espacial, temporal e mobilidade diz respeito, quando comparado com outras técnicas como Eletroencefalograma (EEG) ou Imagens de Ressonância Magnética funcional (fMRI) (Curzel et al., 2024), (Al-Shargie et al., 2022). Embora seja relativamente recente, esta técnica encontra-se em ascensão em termos de desenvolvimento técnico, permitindo aos investigadores a monitorização da atividade cerebral numa ampla gama de aplicações e populações ao longo dos últimos anos (Pinti et al., 2020).

## **Enquadramento Teórico**

### **Ansiedade de Performance Musical - Conceptualização e Estado da Arte**

A Ansiedade de Performance Musical - APM é definida como um estado de apreensão ansiosa, marcada e persistente, que compromete as competências performativas, sendo experienciada em situações de performance musical em público (Barbar et al., 2014). Esta pode ocorrer tanto em cantores como em qualquer outro instrumentista, podendo manifestar-se em performances a solo como em grupo (Barbar et al., 2014). Pode variar de acordo com o contexto em que o músico se encontra inserido, sendo possível identificar os ensaios, atuações em grupo ou a solo, audições públicas e perante júri como passíveis de desencadear ansiedade (Kenny, 2005).

A APM afeta o músico e a própria performance musical através de manifestações físicas, comportamentais e cognitivas, independentemente da qualidade da atuação musical (Kenny, 2011). Surge como uma manifestação emocional pluridimensional que pode incluir um conjunto de respostas cognitivas como um discurso interno negativo e depressão, perdas de memória e pensamentos catastróficos sobre possíveis erros, diminuição da concentração, bem como perda do controlo técnico e medo de feedback negativo de terceiros (Kenny, 2011). No que concerne aos sintomas fisiológicos, estes podem manifestar-se através de dores músculo-esqueléticas (Kenny & Ackermann, 2015), rigidez dos músculos dos braços e do pescoço e dificuldades na manutenção da postura natural (Yoshie et al., 2008) e uma significativa resposta de stress devido à ativação do sistema nervoso periférico simpático, que implica alterações a nível da frequência cardíaca, da atividade eletrodérmica e da frequência respiratória (Cacioppo et al., 2016). Por fim, dentro dos sintomas comportamentais, estes surgem associados a respostas de “Fight, Flight or Freeze”, evitar exposições públicas e automedicação para combater a ansiedade (Kenny, 2011), (Salmon, 1990). Todas estas manifestações supramencionadas podem acarretar prejuízos no bem-estar físico e psicológico do indivíduo e no seu desempenho em público, com impacto profissional e pessoal indissociável.

Trata-se de um problema comum entre músicos, sejam eles amadores ou profissionais e de considerável incidência. Um estudo com 2536 músicos de orquestra na Alemanha, evidencia que a APM está presente em 90% dos executantes, sendo que, na sua forma mais grave, esta condição encontra-se presente entre 15 a 25% dos músicos da amostra (Gembris & Heye, 2014).

Em conformidade, Wesner e colaboradores (1990) constataram que 21% dos estudantes e professores pertencentes a uma escola de música universitária americana, reportavam “angústia acentuada” resultante da ansiedade, enquanto que outros 40% relatavam “angústia moderada”. Neste sentido, também um estudo levado a cabo por Van Kemanade et al. (1995), junto de 155 músicos pertencentes a orquestras profissionais dos Países Baixos, revelou que 9% dos inquiridos afirmaram evitar frequentemente oportunidades de atuação devido à ansiedade e que 13% já chegaram mesmo a interromper uma atuação em pelo menos uma ocasião.

Em relação às vulnerabilidades biológicas e psicológicas associadas ao desenvolvimento da APM, estas podem ser explicadas pelo modelo proposto por Barlow (2000), no qual explica que a ansiedade disfuncional pode ser despoletada pela presença de três tipos de vulnerabilidades num indivíduo, sendo elas, a biológica generalizada (hereditária), a psicológica generalizada (experiências iniciais no desenvolvimento do controlo de situações importantes) e a psicológica específica (a ansiedade é associada a certos estímulos ambientais através de processos de aprendizagem) (Barlow, 2000), (Brugués, 2019). Neste sentido, um estudo desenvolvido por Papageorgi et al. (2007), afirma que outros fatores como a idade, sexo, diferenças individuais e fatores da personalidade, ansiedade traço, autoconceito negativo e sensibilidade à avaliação por terceiros, contribuem fortemente para o aumento da APM. O mesmo se verifica em relação à ansiedade social, que apesar de diferente em muitos aspetos, apresenta uma grande relação com a APM (Gorges et al., 2007). Papageorgi (2022), defende ainda a existência de dois tipos de APM: a) APM mal adaptativa, b) APM adaptativa. Nesta ordem de ideias, evidências de sintomas fisiológicos, mentais (cognitivos e emocionais) e comportamentais evidenciam-se na base dos efeitos negativos produzidos pela APM mal adaptativa (Burin & Osorio, 2017; Papageorgi, 2014). Por outro lado, a APM adaptativa revela efeitos facilitadores passivos de melhorarem a prontidão física para as atuações, um aumento na motivação para ter sucesso, e um auxílio para a concentração e melhoria da qualidade geral do desempenho (Papageorgi, 2022).

É importante destacar que experienciar um certo grau de ansiedade durante uma atuação é considerado normal e até facilitador, isto porque, há pessoas que utilizam o stress como mecanismo para favorecer a sua atividade, no entanto, às vezes pode tornar-se debilitante. Embora existam ambientes mais específicos e propícios a situações de stress, também é possível reverter este cenário quando as peças são percecionadas como menos exigentes do ponto de vista técnico e tocadas em condições mais neutras e

tranquilas, sendo, por este motivo, a escolha adequada do repertório e do seu grau de exigência determinantes para influenciar os níveis de ansiedade (Kenny, 2005). Outro aspecto relevante é a forma como o repertório é planejado, seja pela sua duração ou sequência de obras. Esse deve ser pensado de forma a proporcionar o maior grau de segurança possível ao músico como meio de exponenciar o sucesso da sua performance.

Nesta linha de raciocínio, Marshall (2008) destaca uma audição como um momento de elevado stress, pois a performance será criticada e opinada por um júri, podendo ter efeitos sobre o indivíduo. Também a experiência individual de ansiedade na performance musical está dependente do local e do status social da plateia. Um estudo levado a cabo por Fehm e Schmidt (2006), constata na sua pesquisa que o nível de ansiedade dependia também do status do público, referindo o grupo dos professores como um daqueles que mais ansiedade proporcionava, facto atribuído ao conhecimento profissional e importância do julgamento da performance que os mesmo possuem.

A princípio, todos os músicos que se encontram perante uma atuação, de uma forma ou de outra vão sentir algum grau de ansiedade, isto porque, a APM é encontrada em qualquer situação desafiadora que tenha como finalidade a execução de uma peça a solo ou em grupo. Nesta perspetiva, o desafio de fazer música nas suas diferentes configurações exige, além de um alto grau de habilidade técnica do instrumento, um alto padrão de coordenação motora, bem como excelentes níveis de capacidades de atenção e memória, condições passíveis a que o indivíduo fique vulnerável a experienciar APM (Kenny, Davis, & Oates, 2004).

No sentido de dar uma resposta apropriada a esta problemática, diversos estudos têm sido realizados, destacando-se uma investigação de Kalenska-Rodzaj (2020), que alerta para a necessidade urgente de prevenção e tratamento ainda numa fase inicial da educação musical. O mesmo estudo evidencia que 45% dos participantes envolvidos na pesquisa apresentavam perfis de APM, 31% acreditava que a APM contribuía negativamente para o seu desempenho, 18% relataram impotência e 15% sentiam pressão vinda da plateia. Denota-se, assim, uma necessidade de medidas interventivas para a prevenção e combate deste fenómeno de modo a contribuir assim para o bem-estar dos estudantes e profissionais que convivem com esta condição (Kenny, 2011).

Nesta linha de pensamento, Ryan (2005) considera ser urgente o interesse em desenvolver investigações relacionadas com novas formas de tratamento para a APM, no sentido de aplicar estratégias de intervenção precoce, como consequência do elevado número de adultos que sofrem com esta condição. No seguimento desta abordagem,

também Yonden (2007) julga ser essencial a intervenção terapêutica nos estudantes de música e, se possível, ainda durante a sua formação, tendo em consideração a vulnerabilidade cognitiva e respetivas expectativas sociais. Percebe-se assim, que APM pode afetar negativamente as oportunidades de sucesso para os músicos e tem sido responsável pela interrupção prematura de carreiras musicais promissoras (Ryan, 2005).

### **Integração do Neurofeedback com fNIRS**

O termo Biofeedback (BFDK) refere-se a um conjunto de técnicas terapêuticas que monitorizam em tempo real o padrão de responsividade fisiológica de um indivíduo e que permite a visualização imediata desses sinais fisiológicos através de valores numéricos, gráficos, imagens ou sons (Schwartz & Andrasik, 2016). O objetivo do BFDK é permitir a aquisição do controlo voluntário dessas funções. Através do feedback fornecido, o sujeito consegue identificar e tomar consciência das próprias reações psicofisiológicas (tensão dos músculos, temperatura da pele, frequência cardíaca e alterações na circulação sanguínea), induzindo o indivíduo a aprender a alterá-las voluntariamente (West, 2009). Neste sentido, a técnica do Neurofeedback (NFDK) é uma modalidade do BFDK, que permite monitorizar a atividade elétrica do cérebro em tempo real, e fornecer feedback visual ou auditivo ao indivíduo. Desta forma, é permitido ao participante aprender a controlar a sua própria atividade cerebral, o que pode, por exemplo, levar a melhorias em sintomas ansiosos (Hammond, 2005).

Existem várias técnicas de NFDK, combinações mais clássicas como, por exemplo, o NFDK associado a EEG e o NFDK associado a fMRI. Apesar do NFDK associado a EEG ser a técnica mais utilizada, a combinação com fNIRS apresenta uma maior capacidade de medição da atividade cerebral em áreas mais profundas do cérebro. A possibilidade de medir a atividade cerebral em regiões específicas do cérebro que estão associadas à ansiedade, pode ajudar a reduzir a ansiedade através da identificação dos padrões de atividade cerebral associados à APM e, a partir disso, desenvolver terapias específicas com vista a modular esses padrões de atividade cerebral (Irani et al., 2007). O objetivo da utilização do NFDK com fNIRS passa por ajudar os participantes a aumentar a atividade em regiões do cérebro associadas à calma e reduzir a atividade em regiões associadas à ansiedade (Kober et al., 2014).

Da mesma forma que existem muitos protocolos diferentes para o NFDK, também a ansiedade se caracteriza pela sua diversidade de sintomas, perfis clínicos, grau de severidade, entre várias outras. Um exemplo de protocolo que utilize o NFDK tendo como

base a técnica de fNIRS (NFDK-fNIRS) muito utilizado para a ansiedade, procura fornecer feedback aos participantes sobre os seus padrões de oxigenação nas regiões frontais (e.g. pré-frontal e orbitofrontal) do cérebro (Barth et al., 2016).

A música, sendo considerada um estímulo, pode induzir a alterações no cérebro em virtude deste ser reativo a estímulos (Ilari, 2003). Sabe-se que a atividade cerebral manifesta diferentes padrões de atividade no estado de repouso e na audição de música assim como nas demais atividades ligadas à música (Petsche et al., 1988). De modo a monitorizar esta atividade, o fNIRS pode revelar-se de grande importância para registar as alterações induzidas pela música (Tseng et al., 2018). A informação obtida a partir da atividade registada, num determinado momento de exposição musical, permitirá o melhor conhecimento do cérebro e dos seus mecanismos, sendo possível utilizar este conhecimento para diversos fins, assumindo-se, nesta perspetiva, o NFDK-fNIRS como uma técnica determinante.

A técnica fNIRS, especificamente, apresenta-se como um recurso extremamente promissor para o incremento dos estudos sobre a cognição humana. Caracteriza-se como uma técnica do tipo funcional e não-invasiva (adequada para o uso em populações vulneráveis, como crianças e idosos), com ótima precisão temporal bem como uma boa resolução espacial, com medida indireta das ativações cerebrais, calculadas através do volume sanguíneo captado nas regiões de interesse (Pinti et al., 2020).

Permite a monitorização da atividade cerebral em áreas corticais por meio da absorção da luz infravermelha próxima, utilizada para medir mudanças nos níveis de hemoglobina oxigenada (HbO<sub>2</sub>) e desoxigenada no cérebro (HbR). Os neurónios, quando ativos, consomem mais oxigénio, o que leva a um aumento do fluxo sanguíneo para essas áreas. Esta resposta hemodinâmica associada à atividade neuronal, subjacente através de um processo denominado acoplamento neurovascular, permite capturar os sinais hemodinâmicos com base em outras fontes fisiológicas tais como batimentos cardíacos, pressão arterial e respiração (Pinti et al., 2020). Os fNIRS detetam essa mudança ao emitir luz infravermelha para o couro cabeludo, que penetra o crânio e é parcialmente absorvida pela hemoglobina oxigenada e desoxigenada no tecido cerebral (Pinti et al., 2020).

Quanto ao processo biológico, sabe-se que as moléculas de hemoglobina oxigenadas e desoxigenadas têm diferentes espectros de absorção na gama do infravermelho próximo (Amaro et al., 2006). Ao analisar a quantidade de luz absorvida e refletida, os fNIRS podem estimar as alterações na concentração dessas moléculas. Estes dados são depois usados para inferir a atividade neuronal nas regiões cerebrais

especificamente destacadas para o estudo em questão. A Lei de Beer-Lambert modificada permite esta inferência, na medida em que o fNIRS utiliza fontes de luz infravermelha para penetrar nos tecidos cerebrais. A consequente absorção desses comprimentos de onda pela hemoglobina no sangue, está relacionada com Lei de Beer-Lambert. As mudanças na absorção de luz detetadas pelo fNIRS são utilizadas para monitorizar a atividade cerebral em tempo real. Este processo é crucial devido à relação entre a absorção e a concentração de hemoglobina (Quaresima & Ferrari, 2019).

Trata-se ainda de uma técnica que apresenta vastas vantagens quando comparada com outras, concretamente em termos de custos, praticidade, facilidade de aplicação e validade ecológica para apresentação e resolução de tarefas (Scherer et al., 2009). Outra vantagem de especial importância, prende-se com o fato das suas fontes infravermelhas não apresentarem radiação ionizante, permitindo a possibilidade de uso repetido e sem prejuízo aos participantes da pesquisa (Scherer et al., 2009).

Em contextos de ansiedade elevada, existem diversas áreas cerebrais que são ativadas, incluindo a amígdala, o córtex cingulado anterior, o córtex pré-frontal medial e o córtex pré-frontal dorsolateral (Etkin & Wagner, 2007). No caso específico da APM, esta é caracterizada por uma atividade significativa no córtex pré-frontal medial, córtex cingulado anterior, córtex pré-motor, córtex pré-frontal dorsolateral e áreas somatossensoriais e motoras (Shimada et al., 2005). Assim sendo, no que diz respeito à área cerebral destacada, através da técnica fNIRS, o presente estudo procura mapear a alteração da área cerebral do córtex pré-frontal dorsolateral direito e esquerdo e do orbitofrontal durante a performance musical, ligadas à ansiedade e à regulação emocional (Al-Shargie et al., 2022).

Para concluir, a combinação do NFDK com a técnica neuroimagiológica de fNIRS representa uma oportunidade promissora para explorar novas vias de intervenção. A monitorização precisa e em tempo real dos padrões de atividade em áreas cerebrais essenciais para o controlo da ansiedade oferece a oportunidade de validar intervenções mais personalizadas, que podem proporcionar melhores e mais rápidos resultados para indivíduos com APM. Desta forma, este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade ecológica de um protocolo experimental a partir da participação numa sessão de NFDK-fNIRS durante a execução de uma performance musical. O objetivo principal foi determinar se o protocolo poderia ser implementado de maneira prática e eficaz num ambiente realista, permitindo uma reflexão sobre a sua aplicabilidade e potencial para futuras investigações e intervenções em indivíduos com APM.

## Método

### Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo foram:

- i. Testar a viabilidade de um protocolo experimental de NFDK-fNIRS para a redução dos níveis de APM.
- ii. Mapear as alterações imediatas das áreas cerebrais (e.g., córtex pré-frontal dorsolateral direito e esquerdo e orbitofrontal) durante a sessão de NFDK-fNIRS permitindo a análise das respostas neurais em tempo real no contexto da APM.
- iii. Explorar se os diferentes aspetos musicais (e.g., anos de prática, formação musical prévia) influenciam o desempenho dos participantes na sessão de NFDK.

### Hipóteses

H1: O protocolo NFDK-fNIRS mostrar-se-á viável para a intervenção em casos de APM em estudantes de música, permitindo uma monitorização eficaz e em tempo real do padrão de ativação cerebral, e um bom desempenho do protocolo experimental durante a realização da tarefa de NFDK.

H2: Durante a sessão de NFDK-fNIRS, espera-se que ocorram alterações no padrão de ativação do córtex pré-frontal dorsolateral direito e esquerdo e o córtex orbitofrontal, ambos associados à regulação da APM.

H3: Os diferentes aspetos musicais, como os anos de prática e a formação musical prévia, influenciam significativamente o desempenho dos participantes durante a intervenção com NFDK-fNIRS. Noutras palavras, espera-se que os participantes mais experientes demonstrem um melhor desempenho na tarefa de NFDK, i.e., padrões mais elevados de ativação cerebral e níveis mais baixos de stress.

### Amostra

O presente estudo de viabilidade envolveu um total de 13 músicos portugueses, amadores e profissionais, predominantemente do sexo masculino ( $n = 11$ ) e com idades compreendidas entre os 18 e 29 anos ( $M = 23,15$ ;  $DP = 3,41$ ). Cinco participantes encontram-se a completar o ensino superior em música ou já o completaram, quatro frequentaram uma escola de música, academia ou conservatório e três nunca tiveram qualquer formação musical (são músicos amadores ou tiveram apenas aulas de educação musical em contexto escolar).

Relativamente ao instrumento musical preferencial, seis praticam um instrumento de cordas, seis praticam um instrumento de sopro e um pratica percussão. No entanto, para efeito de recolha de dados, a maioria tocou um instrumento de cordas ( $n = 7$ ), sendo o teclado ( $n = 4$ ) o instrumento mais utilizado. Quanto aos anos de prática musical, há músicos com uma prática regular de desde um ano até vinte anos, dos quais, quatro contam com entre um e cinco anos de prática, três entre seis e dez anos e seis que praticam há mais de dez anos ( $M = 9,46$ ;  $DP = 5,91$ ). Na sua maioria, os participantes têm aulas individuais de periodicidade semanal ( $n = 8$ ). Todos os músicos relataram dedicar entre 2 e 42 horas semanais para a prática do instrumento ( $M = 10,08$ ;  $DP = 12,32$ ), da mesma forma que todos relatam realizar apresentações anuais em público ( $M = 18,69$ ;  $DP = 15,06$ ). Abaixo, na Tabela 1, encontram-se descritas as características sociodemográficas da amostra.

**Tabela 1.** *Características Sociodemográficas da Amostra*

<b>Variáveis Sociodemográficas</b>	<i>n</i>	% válida	<i>M</i>	<i>DP</i>	<i>Min.</i>	<i>Máx.</i>
<b>Sexo</b>	13	100				
Feminino	2	15,4				
Masculino	11	84,6				
<b>Idade (em anos)</b>	13	100	23,15	3,412	18	29
<b>O que está a frequentar</b>	13	100				
Licenciatura	6	46,2				
Mestrado	4	30,8				
Outro	3	23,1				
<b>Formação Musical Prévia</b>	13	100				
Nunca tive educação musical, mas sou músico amador ou autodidata ou tive aulas de educação musical em contexto escolar	3	23,1				
Frequentei uma escola de música, academia ou conservatório.	4	30,8				

Encontro-me a							
frequentar o ensino superior de	5	38,4					
música ou já o completei							
Sem resposta.	1	7,7					
<b>Instrumento Preferencial</b>	13	100			1		3
Baixo	1	7,7					
Guitarra	2	15,4					
Percussão	1	7,7					
Piano	3	23,1					
Saxofone	2	15,4					
Trombone	1	7,7					
Trompa	2	15,4					
Trompete	1	7,7					
<b>Instrumento usado no</b>	13	100			1		4
<b>protocolo</b>							
Baixo	1	7,7					
Guitarra	2	15,4					
Saxofone	2	15,4					
Teclado	4	30,8					
Trombone	1	7,7					
Trompa	2	15,4					
Trompete	1	7,7					
<b>Anos de prática musical</b>	13	100	9,46	5,91	1		20
<b>Frequência semanal de aulas</b>							
<b>individuais (n° de horas)</b>	13	100	0,62	12,32			
0h	5	38,5					
1h	8	61,5					
<b>Frequência semanal de estudo</b>							
<b>musical (n° de horas)</b>	13	100	10,08	12,32	2		42
Baixa frequência: 2 a 15							
horas por semana	10	77					
Média frequência: 16 a							
28 horas por semana	2	15,4					

Alta frequência: 29 a 42  
horas por semana 1 7,7

<b>Frequência de apresentações em público (média anual)</b>	13	100	18,69	15,06	0	50
---	----	-----	-------	-------	---	----

## **Instrumentos**

### ***Questionário Sociodemográfico***

O questionário sociodemográfico foi desenvolvido para o presente estudo com a finalidade de recolher informações descritivas sobre os participantes, nomeadamente: (a) idade, (b) sexo, (c) nacionalidade, (d) habilitações literárias, (e) formação musical prévia, (f) instrumento preferencial, (g) instrumento usado no protocolo, (h) anos de prática, (i) frequência semanal de aulas individuais, (j) frequência semanal de estudo musical, (k) frequência de apresentações em público, (l) toma de medicação para a ansiedade, (m) histórico de acompanhamento psiquiátrico e/ou psicológico.

### ***Júri Simulado***

Foi preparado previamente um júri simulado através de vídeos pré-gravados de oito pessoas adultas, cuidadosamente selecionadas para representar uma variedade de expressões e comportamentos. Os vídeos foram montados de forma a simular uma chamada de vídeo através da plataforma Zoom, para representar a avaliação em tempo real da execução musical.

Para cada membro do júri, foram pré-gravados vídeos em duas condições: neutra e aversiva. A condição neutra consistia no aparecimento do painel, numa falsa chamada Zoom, em que os vídeos mostravam os membros do júri com expressões faciais neutras, sem emitir julgamento explícito ou negativo sobre a performance dos participantes e com ausência de som. Na condição aversiva, os vídeos apresentavam os membros do júri com expressões faciais críticas, linguagem corporal negativa e comportamentos de desaprovação, simulando uma avaliação desfavorável e crítica do desempenho dos participantes. Em acréscimo, durante o experimento, esta condição continha estímulos auditivos aversivos, com o microfone dos júris ativo e a imitar sons de forma intermitente durante o segundo e terceiro minuto de atuação (e.g., caneta a cair, telemóvel a tocar, telemóvel a receber mensagens e telemóvel a ativar alarmes).

Relativamente à segunda atuação, todas as condições foram mantidas face à primeira atuação, à exceção de que, desta vez, os júris apresentavam-se com as câmaras

desligadas de modo a evitar que os participantes percebessem que os vídeos eram repetidos.

Este arranjo permitiu criar um contexto de avaliação realista e controlada, onde foi possível verificar a forma como os participantes executavam a sua performance na presença destes estímulos.

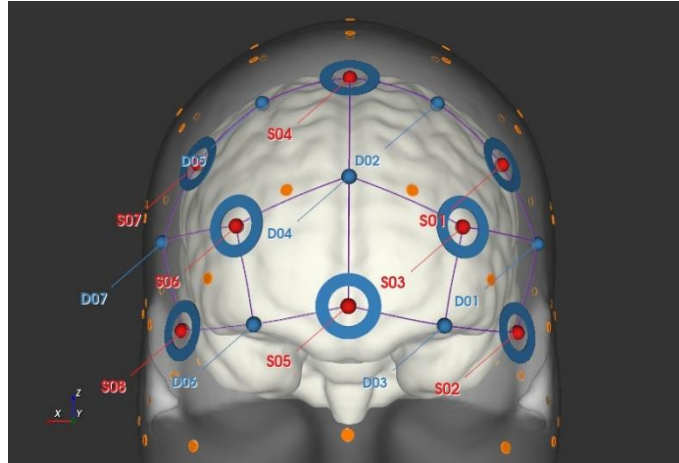
### ***Instrumentos Fisiológicos***

#### **Neurofeedback baseado no sinal de fNIRS**

Neste estudo, o NFDK foi aplicado através do Turbo-Satori (Brain Innovation B.V., Maastricht, the Netherlands; Lührs and Goebel, 2017), que utiliza a análise online em tempo real de dados de fNIRS para aplicações de NFDK através do sistema NIRx NIRSport 2 (NIRx Medizintechnik GmbH, Berlin, Germany). O Turbo-Satori permite a visualização, armazenamento e análise personalizada e em tempo real das concentrações de hemoglobina oxigenada e desoxigenada utilizando um modelo linear generalizado (GLM). Este modelo converteu os sinais brutos em hemoglobina oxigenada (HbO) e hemoglobina desoxigenada, seguindo a lei de Beer-Lambert modificada (Delpy et al., 1988). O eléctrodo Fz foi utilizado como ponto de referência e os detetores 1 e 2 foram posicionados na linha nasion-inion conforme o sistema Internacional 10-20 (Chatrian et al., 1985).

Foram utilizadas oito fontes (S1-S8) e sete detetores (D1-D7), devidamente conectados a uma touca. Todas as fontes foram acopladas a canais curtos de forma a reduzir o ruído fisiológico. Ao todo foram definidos 20 canais que cobriram as áreas do córtex pré-frontal, córtex ventrolateral e córtex dorsolateral. Adicionalmente, utilizou-se um blackout para a touca, com o intuito de bloquear a luz externa, devido ao facto desta não ser uma fonte de luz controlável.

A figura abaixo é representativa de um exemplo do arranjo experimental utilizado durante a realização da recolha de dados.



**Figura 1.** Configuração da touca fNIRS. S1 a S8 representam as fontes fNIRS e D1 a D7 representam os detectores fNIRS (adaptado a partir do NIRSite 2.0 - <https://nirx.net/nirsite>).

## **Protocolo**

A recolha de dados foi realizada no Human Neurobehavioral Laboratory - HNL. Todos os sujeitos aceitaram participar no estudo, tendo assinado o consentimento informado, que incluiu uma breve descrição dos objetivos do estudo, da identificação dos instrumentos, informação relativa à confidencialidade e anonimização dos dados, bem como os potenciais riscos e benefícios associados à participação, conforme a Declaração de Helsínquia (Associação Médica Mundial, 2013) e a Ordem dos Psicólogos Portugueses (OPP, 2021).

### ***Fase 1 (Pré-Laboratório)***

Previamente ao processo de recolha de dados, foi solicitado aos participantes a escolha de três peças musicais que preenchessem os seguintes critérios: a) ausência do auxílio da partitura; b) excerto com algum nível de dificuldade; c) excerto aprendido no último ano. Após receção das escolhas dos participantes, os investigadores consultaram um músico profissional e, em articulação com os participantes, escolheram a peça que mais se adequava ao contexto e ao participante.

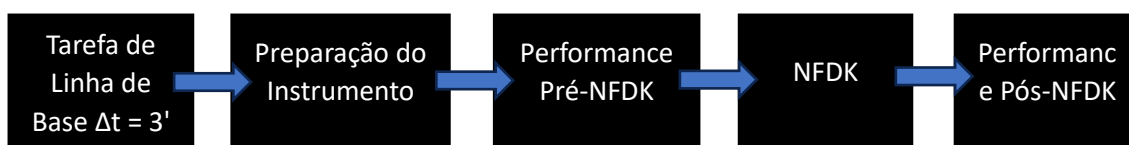
Antes da sessão laboratorial, os participantes também preencheram os respetivos consentimentos, questionários relativos a informações sociodemográficas e informações sobre a peça musical selecionada. Em acréscimo, foram preenchidos outros questionários relacionados com os objetivos do projeto no qual este estudo se insere. No entanto, esses dados adicionais não serão apresentados neste estudo. Todos os questionários foram preenchidos através da plataforma Qualtrics.

## ***Fase 2 (Laboratório)***

Após a montagem dos equipamentos para a recolha de dados de fNIRS foi realizada a tarefa de linha de base onde os participantes foram instruídos a relaxar. Esta fase teve como objetivo estabelecer uma medida de referência para a atividade cerebral e fisiológica dos participantes num estado de repouso e sem estimulação. Os participantes foram orientados a sentar-se confortavelmente e a evitar movimentos desnecessários ou focos mentais específicos. A tarefa de linha de base teve uma duração de três minutos.

De seguida, solicitou-se ao participante que preparasse o seu instrumento musical para a primeira performance, que incluía aquecer e afinar o seu instrumento.

Segue-se, abaixo, um diagrama alusivo ao procedimento de laboratório.



### **Primeira Atuação com Feedback do Júri Simulado**

Esta primeira atuação foi acompanhada pelo júri simulado (com as câmaras ligadas), com ambas as condições: neutra e aversiva. No primeiro minuto de atuação, foi apresentada a versão neutra do júri e, a partir do primeiro minuto, foi apresentada a versão aversiva do júri simulado.

### **Sessão de Neurofeedback**

Terminada a primeira performance, foram dadas as instruções ao participante, orientando-se a atenção do mesmo para um termómetro emocional. Explicou-se que este termómetro era baseado na ativação de uma área cerebral muito relevante para o seu desempenho (e.g., o córtex pré-frontal) de acordo com o sinal de fNIRS. Foram também informados que, enquanto realizavam o paradigma, deveriam manter a atenção no termómetro de forma a mantê-lo dentro dos parâmetros indicados na imagem.

Durante a sessão de NFDK foi realizada, primeiramente, uma tarefa geométrica, de fácil execução, de modo a estimular os participantes, que passava por identificar uma de quatro formas geométricas, conforme pedido, e posicionadas de forma aleatória (e.g., triângulo, retângulo, círculo, paralelograma).

De seguida, foi pedido que os participantes resolvessem equações matemáticas, com um tempo limite de 15 segundos para cada uma. Esta tarefa foi desenhada para

incluir mais um estímulo aversivo e indutor de stress. Nomeadamente, mesmo que o participante fornecesse uma resposta correta, o programa estava configurado para exibir uma mensagem indicando que a solução estava errada. Esta manipulação simulou um ambiente de avaliação negativa e criou uma experiência de ansiedade nos participantes, aumentando os níveis de ansiedade semelhantes aos que ocorrem durante apresentações musicais. A tarefa permitiu avaliar o impacto do NFDK na forma como os participantes lidam com a pressão e a crítica negativa.

Na última tarefa, o participante foi exposto a uma tarefa de memória e reconhecimento de palavras com três séries (e.g., a primeira série de três palavras, a segunda com cinco palavras e terceira com sete palavras), tendo cerca de dois segundos para visualizar as palavras, e um intervalo de espera de cinco segundos antes de poder responder com "sim" ou "não" para verificar se uma palavra pertencia ao grupo previamente exibido. Esta tarefa tinha como objetivo aumentar o nível de ansiedade nos participantes, através do aumento progressivo da dificuldade na realização da tarefa.

Terminada a sessão de NFDK, foi pedida uma segunda performance aos participantes, na presença dos mesmos estímulos, à exceção de que desta vez, a chamada Zoom continha as câmaras de todos os júris desligadas, de modo a evitar que os participantes percebessem que eram vídeos repetidos.

### ***Fase 3 (Pós-laboratório)***

Após a participação laboratorial, os participantes preencheram um questionário na plataforma Qualtrics destinado a obter a sua perceção sobre a intervenção com NFDK e preencheram outros questionários associados a outros estudos do projeto.

Realizou-se ainda um *debriefing* com os participantes, de modo a esclarecer todos os procedimentos do estudo e garantindo que os participantes se encontravam bem, explicando-se ainda que o júri era falso e que qualquer que fosse a resposta à tarefa das equações iriam obter um feedback negativo por parte do programa.

## **Protocolo de Análise de Dados**

### ***Métricas de Análise de Dados de fNIRS***

Para a análise dos dados de fNIRS, foram utilizadas duas métricas principais: a entropia espectral (EE) e a energia dos sinais de fNIRS recolhidos a partir do córtex pré-frontal para comparar os participantes nas diferentes fases do processo de recolha, nomeadamente, na linha de base, na primeira atuação e na segunda atuação.

A EE mede a complexidade, a irregularidade ou a quantidade de desordem de um sinal com base na distribuição da sua energia ao longo do espectro de frequência. Desta forma, a EE é capaz de calcular a energia presente em cada frequência e avaliar o quão uniformemente essa energia está distribuída (Nunes et al., 2004). Se a energia do sinal estiver concentrada em poucas frequências, a EE será baixa, indicando um sinal mais previsível e regular. Se a energia estiver espalhada em muitas frequências, a entropia será alta, indicando um sinal mais complexo e desorganizado (Nunes et al., 2004). A EE é útil para avaliar o impacto de intervenções terapêuticas, como é o caso da intervenção de NFDK-fNIRS. Mudanças na EE podem indicar diferentes níveis de complexidade na atividade neuronal, refletindo a eficácia da intervenção (Nunes et al., 2004). A título de exemplo, uma EE relativamente baixa, indica uma atividade cerebral mais estável e menos variada no estado de repouso, no entanto, é esperado que esta aumente à medida que o participante se envolve na tarefa musical, o que reflete a complexidade cognitiva e emocional subjacente à tarefa. Pode, ainda, ocorrer uma variação na EE dependendo do impacto dos estímulos aversivos ou da exigência da peça musical em execução. Por outro lado, é esperado que durante o esforço para regular as emoções, a EE aumente inicialmente, refletindo o esforço cognitivo e emocional necessário para controlar as respostas emocionais. No entanto, conforme o participante consiga regular de forma eficaz as emoções, a EE pode diminuir gradualmente, indicando uma estabilização da atividade cerebral e um retorno a um estado mais previsível e controlado. Esta dinâmica de aumento e posterior diminuição da EE pode ser um sinal da eficácia do processo de regulação emocional, demonstrando que o cérebro está a ajustar-se aos desafios emocionais e retorna a uma condição de maior equilíbrio após o esforço de regulação (Keshmiri, 2020).

Já a energia de um sinal e a potência de um sinal são utilizados para caracterizar um sinal e quantificar a intensidade total da atividade cerebral nessa área. Deste modo, a energia de sinal é uma medida da magnitude total de um sinal ao longo do tempo (no caso, da hemoglobina oxigenada), que fornece uma representação da força ou da potência do sinal num intervalo específico. Logo, essa medida reflete o nível de ativação neuronal durante cada fase do experimento. Esta métrica é frequentemente utilizada no processamento de sinais, de modo a analisar a intensidade e as características de diferentes tipos de sinais (Ribeiro, 2022). Exemplificando, uma energia relativamente baixa, corresponde a um estado de repouso e a uma menor ativação neuronal, que tende a aumentar significativamente durante a realização de tarefa musical emocionalmente

exigente que exige uma maior ativação cerebral, mantendo-se elevada se a tarefa for exigente (Kang et al, 2021).

É importante ressaltar que a análise conjunta destas duas métricas referentes à atividade do córtex pré-frontal, medida através da técnica de fNIRS, permite uma compreensão mais profunda da resposta do córtex pré-frontal às diferentes fases experimentais. Por um lado, a EE serve como um indicador da variabilidade e complexidade dos padrões de atividade cerebral, sendo mais indicativa de processos cognitivos complexos e dinâmicos subjacentes às tarefas. Por outro lado, a energia mede a intensidade total da atividade cerebral, sendo indicadora do nível de ativação neuronal (Jirsa & Sheheitli, 2022).

### ***Procedimento Geral de Análise***

No que concerne à análise de dados, foi utilizado o programa Statistical Package for the Social Sciences (IBM SPSS statistics), versão 29.0, após exportação de todos os dados recolhidos na plataforma Qualtrics.

Deste modo, foi então realizada toda uma análise descritiva dos dados sociodemográficos da amostra, com recurso a frequências e percentagens. Para além disto, avaliou-se os pressupostos da normalidade das distribuições dos dados para as variáveis de interesse, segundo as orientações de Martins (2011).

Posteriormente, realizou-se a análise das métricas através de boxplots, de modo a verificar a existência de diferenças entre cada fase. Foi também utilizada uma regressão linear de modo a verificar se a variação no estímulo aversivo era afetada pelo número de anos de estudo.

O teste de diferenças não paramétricas, Kruskal-Wallis, foi utilizado para verificar se formação musical prévia produzia diferenças na resposta à intervenção. Por outro lado, o teste não paramétrico para amostras independentes Mann-Whitney U foi usado para verificar o efeito da intervenção em cada um dos grupos de instrumento praticado.

## **Resultados**

Tendo em conta as hipóteses formuladas, seguem-se abaixo os resultados obtidos.

### **Viabilidade e eficácia do protocolo (H1)**

De forma a avaliar a viabilidade do protocolo de NFDK-fNIRS, recorreu-se a uma abordagem baseada na observação do desempenho dos participantes durante o procedimento e a verificação da qualidade dos dados recolhidos (fNIRS). A metodologia escolhida permitiu uma análise mais ampla não só do comportamento dos participantes durante cada sessão laboratorial, mas também da integridade dos dados obtidos.

Os resultados demonstraram que o protocolo de NFDK-fNIRS foi bem-sucedido no que se refere à implementação prática e viável quanto à captação em tempo real dos sinais de fNIRS para monitorizar o padrão de atividade cerebral. Através das observações realizadas pelos investigadores, verificou-se que todos os participantes seguiram o protocolo de forma consistente, não se registando relatos de qualquer desconforto com o arranjo dos diferentes equipamentos e com a realização das tarefas propostas em nenhuma fase da recolha, tendo a intervenção sido bem tolerada e o protocolo realizado sem dificuldades técnicas.

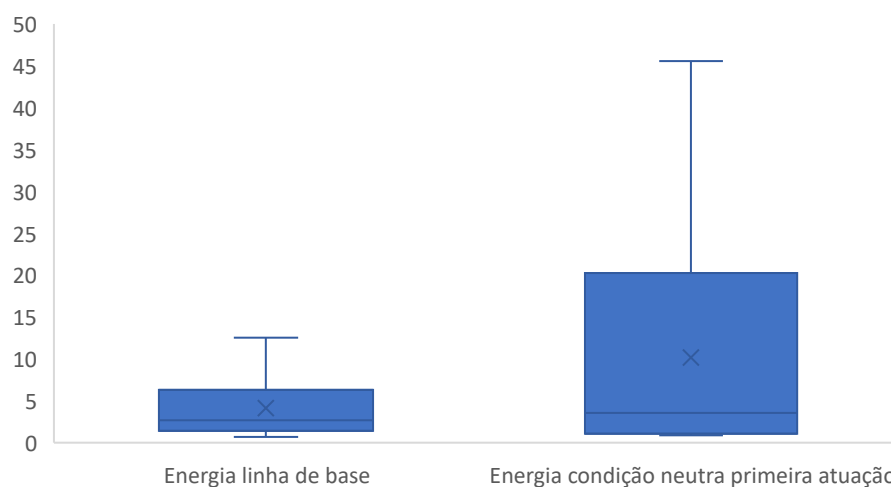
Relativamente à avaliação da qualidade dos dados fNIRS, estes foram então processados para obter métricas, sendo que não apresentavam carências ou desvios significativos em relação aos intervalos relatados na literatura para adultos saudáveis (Curzel et al., 2024), e estavam livres de artefactos. Os dados não apresentam qualquer flutuação atípica ao longo do tempo, espelhando a integridade e a qualidade dos dados ao longo das recolhas, assim como a sensibilidade dos instrumentos utilizados para detetar alterações a nível da atividade cerebral bem como dos níveis de atividade cerebral dos participantes. A análise das métricas de EE e de energia referente aos sinais de fNIRS corroborou a eficácia do protocolo, com a observação de variações relevantes entre as fases de linha de base, primeira atuação, sessão de NFDK e segunda atuação. Essas variações também refletem o impacto do NFDK nos processos cognitivos e emocionais do indivíduo considerando o seu desempenho nas diferentes fases.

## Alterações no padrão de ativação do córtex pré-frontal dorsolateral direito e esquerdo e o córtex orbitofrontal (H2)

Para testar esta hipótese e obter uma análise mais precisa das alterações na atividade cerebral diretamente relacionadas com a performance musical, foi comparado o padrão de atividade durante a tarefa da linha de base (estado de repouso) com o padrão de atividade cerebral durante ambas as atuações e entre cada atuação. Este passo estabeleceu um ponto de comparação consistente para a resposta cerebral, a partir do qual todas as respostas subsequentes foram comparadas.

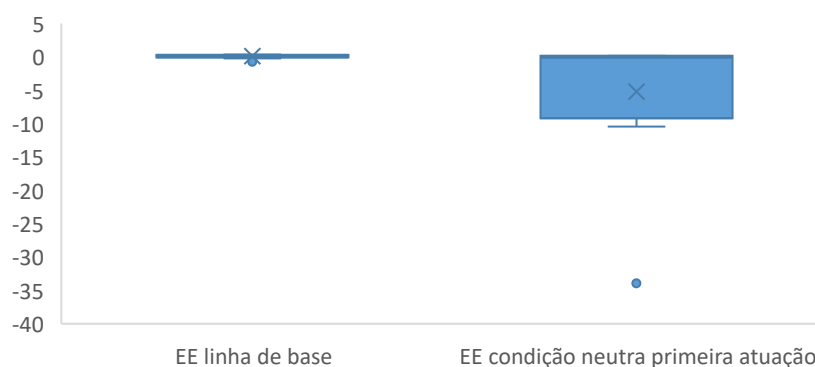
### *Comparação Entre a Linha de Base e a Condição Neutra na Primeira Atuação Musical*

Através da análise dos resultados apresentados pelos boxplots comparativos entre a energia da linha de base e a condição neutra da primeira atuação musical, verifica-se que ocorreu um aumento significativo nos níveis de energia cerebral na condição neutra em comparação com a linha de base. Os valores de energia durante o estado de repouso são relativamente baixos e consistentes, com pouca variabilidade entre os participantes. Isso é esperado, uma vez que a linha de base representa um estado sem estimulação intencional, quando se espera uma baixa ativação cerebral. No entanto, a energia cerebral aumenta de forma acentuada durante a condição neutra da primeira atuação, pode indicar que a tarefa musical, mesmo que seja numa condição neutra (no que diz respeito ao feedback do júri simulado), provocou um aumento considerável na ativação neuronal, em contraste com a linha de base (ver Figura 2).



**Figura 2.** Boxplot comparativo entre a energia da linha de base e a energia da condição neutra na primeira atuação musical.

Relativamente à EE, durante o estado de repouso, a EE está muito próxima de zero e apresenta uma baixa variação entre os participantes, o que é esperado, dado que a linha de base representa um estado de baixa estimulação. A condição neutra, mesmo sem o envolvimento de estímulos aversivos, tende a gerar uma maior variabilidade e complexidade na atividade cerebral, quando comparada ao estado de repouso. Isto reflete o aumento do esforço cognitivo e emocional necessário durante a performance musical (ver Figura 3).



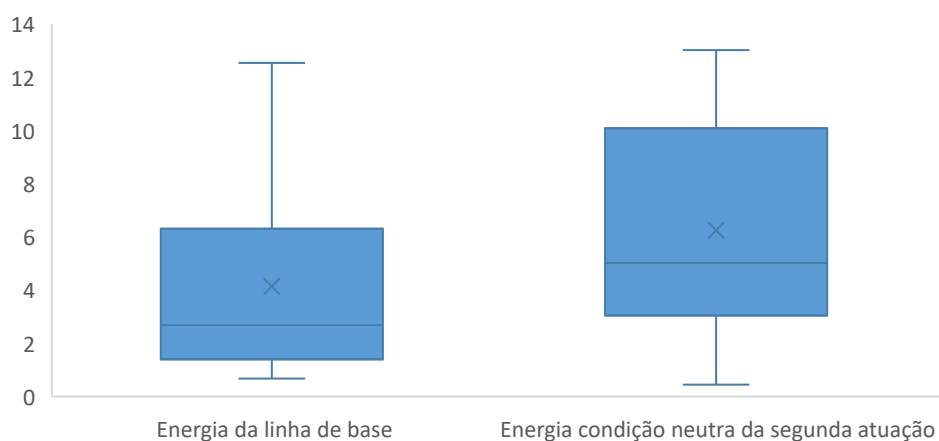
**Figura 3.** Boxplot comparativo entre a entropia espectral da linha de base e a entropia espectral da condição neutra na primeira atuação musical.

Em acréscimo, realizou-se um teste de diferenças (teste de Wilcoxon), uma vez que os dados não seguem uma distribuição normal.

Segundo os resultados deste teste, não se verificaram diferenças significativas entre a energia da tarefa da linha de base e a energia do pré-frontal dos estímulos neutros da primeira atuação,  $Z = -0,314$ ,  $p = 0,754$ . Por outro lado, observam-se diferenças significativas entre a EE da tarefa de linha de base e a EE da condição neutra da primeira atuação,  $Z = -2,510$ ,  $p = 0,012$ .

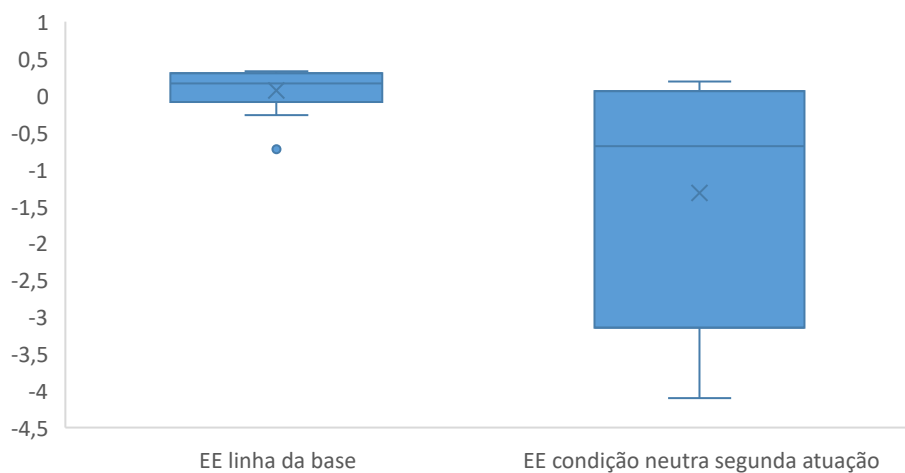
### ***Comparação Entre a Linha de Base e a da Condição Neutra na Segunda Atuação Musical***

A análise dos resultados apresentados nos boxplots comparativos entre a energia da linha de base e energia da condição neutra da segunda atuação, evidencia uma mediana significativamente mais elevada para a condição neutra da segunda atuação, sugerindo uma maior energia na resposta a esta condição. A mesma apresenta uma maior dispersão dos dados, com um IQR superior em relação à linha de base, indicador de uma maior dispersão nos valores de energia.



**Figura 4.** Boxplot comparativo entre a energia da linha de base e a energia da condição neutra na segunda atuação musical.

Partindo da análise comparativa dos boxplots para a EE relativa às mesmas condições, a tarefa da linha de base apresenta um IQR com uma menor variabilidade, verificando-se, em suma, uma EE significativamente menor na condição neutra da segunda atuação por comparação com a tarefa da linha de base.

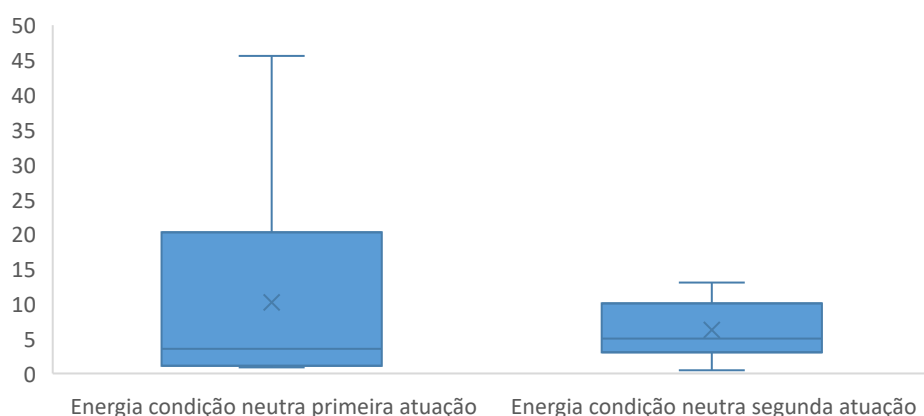


**Figura 5.** Boxplot comparativo entre a entropia espectral da linha de base e a entropia espectral da condição neutra na segunda atuação musical.

Não se verificaram diferenças significativas entre a energia da tarefa da linha de base e a energia do pré-frontal dos estímulos neutros da segunda atuação,  $Z = -1,334$ ,  $p = 0,182$ . Porém, observam-se diferenças significativas entre a EE da tarefa de linha de base e a EE do pré-frontal dos estímulos neutros da segunda atuação,  $Z = -2,981$ ,  $p = 0,003$ .

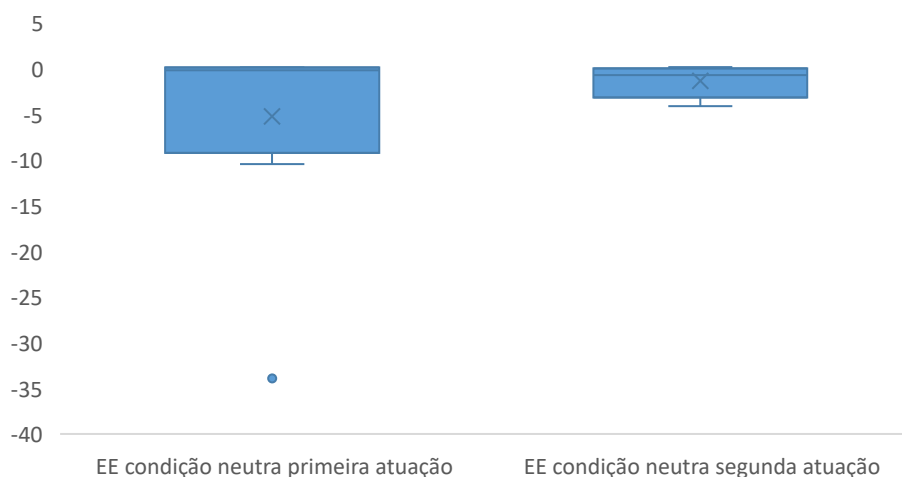
### *Comparação Entre os Dois Momentos de Atuação Musical – Condição Neutra*

Através da análise dos resultados apresentados pelos boxplots comparativos entre a condição neutra de cada atuação, constata-se que as medianas se apresentam com valores semelhantes para ambas as condições, no entanto, há um ligeiro aumento na resposta para o estado neutro da segunda atuação. A condição neutra da primeira atuação apresenta um IQR superior, com uma maior variabilidade dos dados, face à maior consistência dos dados relativos à condição neutra da segunda atuação.



**Figura 6.** Boxplot comparativo entre a energia da condição neutra da primeira atuação e a energia da condição neutra da segunda atuação musical.

A análise dos resultados apresentados pelos boxplots comparativos entre a entropia espectral da condição neutra da primeira atuação e a entropia espectral da condição neutra da segunda atuação, evidenciam medianas abaixo de zero para ambas as condições, mas com um valor mais elevado para a condição neutra da primeira atuação. Em acréscimo, a mesma condição apresenta um IQR maior, bem como uma maior variabilidade nos dados.



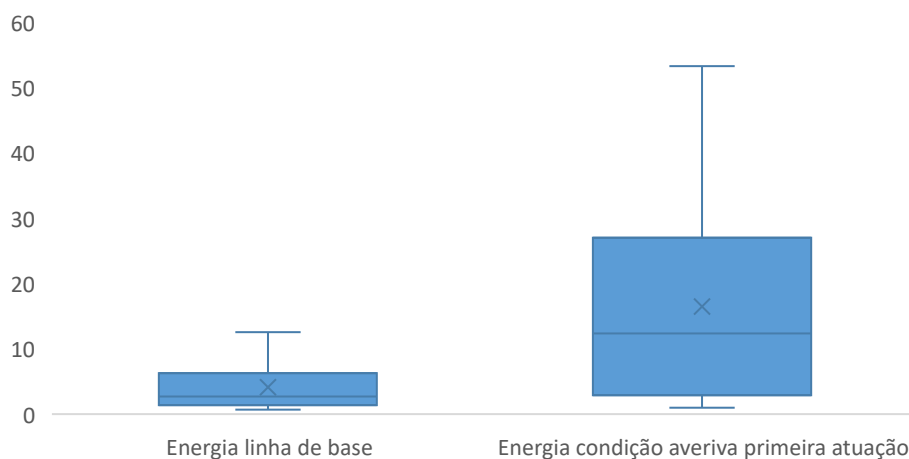
**Figura 7.** Boxplot comparativo entre a entropia espectral da condição neutra da primeira atuação e a entropia espectral da condição neutra da segunda atuação musical.

Realizou-se um teste de diferenças (teste de Wilcoxon), uma vez que os dados não seguem uma distribuição normal. Assim, segundo os resultados deste teste, não se verificaram diferenças significativas entre a energia do pré-frontal dos estímulos neutros para ambas as atuações,  $Z = -0,392, p = 0,695$ . O mesmo sucede entre a EE do pré-frontal dos estímulos neutros da primeira e da segunda atuação,  $Z = -0,628, p = 0,530$ , onde também não se verificaram diferenças significativas

### ***Comparação entre a Linha de Base e a Condição Aversiva na Primeira Atuação Musical***

Os resultados exibidos nos boxplots comparativos entre a energia da linha de base e a condição aversiva da primeira atuação, demonstram um mediana significativamente mais alta para a condição aversiva, indicando um aumento substancial na energia medida neste estado.

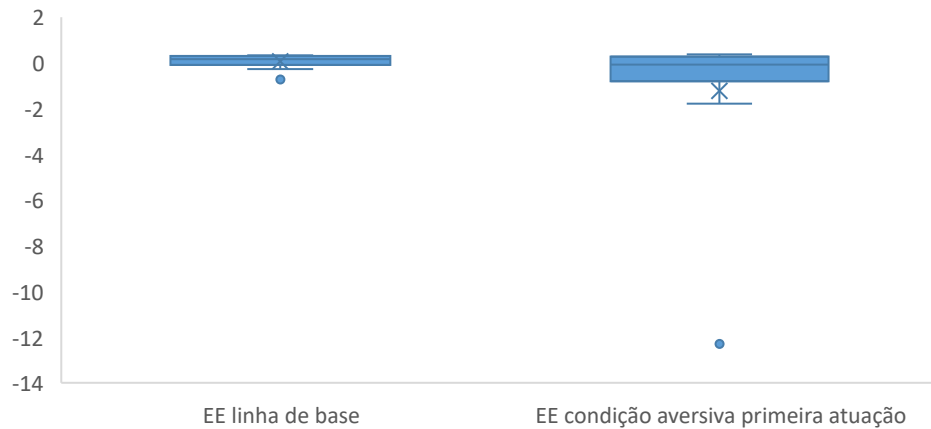
No que diz respeito a dispersão dos dados, também a condição aversiva apresenta uma variabilidade muito maior nos valores de energia.



**Figura 8.** Boxplot comparativo entre a energia da linha de base e a energia da condição aversiva na primeira atuação musical.

Através da análise dos resultados apresentados pelos boxplots comparativos entre a EE da linha de base e a EE da condição aversiva na primeira atuação, verifica-se que a mediana da condição da linha de base se apresenta acima de zero, algo que não acontece

na condição aversiva, que se encontra ligeiramente abaixo de zero. Em acréscimo, a linha de base apresenta um IQR menor, sugerindo uma menor variabilidade nos dados.

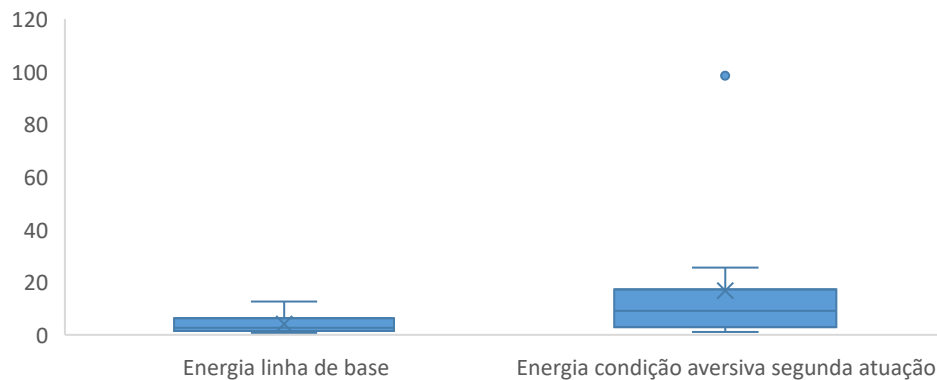


**Figura 9.** Boxplot comparativo entre a entropia espectral da linha de base e a entropia espectral da condição aversiva na primeira atuação musical.

Também aqui se realizou um teste de diferenças (teste de Wilcoxon), uma vez que os dados não seguem uma distribuição normal. Deste modo, verificou-se uma diferença significativa entre a energia da tarefa de linha de base e a energia do pré-frontal dos estímulos aversivos da primeira atuação,  $Z = -2,589$ ,  $p = 0,010$ , enquanto que, não se verificaram diferenças significativas entre a EE da tarefa da linha de base e a EE do pré-frontal do estímulo aversivo da primeira atuação,  $Z = -1,098$ ,  $p = 0,272$ .

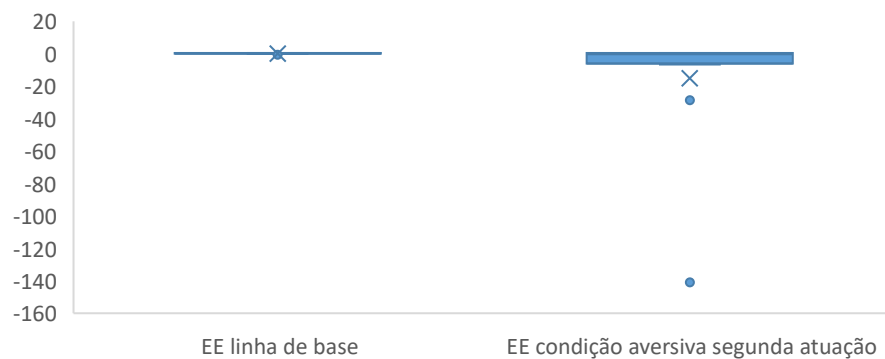
### ***Comparação entre a Linha de Base e a Condição Aversiva na Segunda Atuação Musical***

Pela análise dos resultados apresentados pelos boxplots comparativos entre a energia da linha de base e a energia da condição aversiva na segunda atuação musical, verifica-se que as medianas se apresentam acima de zero para ambas as condições, no entanto, há um crescente aumento na resposta ao passar da linha de base para o estado aversivo. Em acréscimo, a linha de base apresenta um IQR ligeiramente menor, sugerindo uma menor variabilidade nos dados.



**Figura 10.** Boxplot comparativo entre a energia da linha de base e a energia da condição aversiva na segunda atuação musical.

Através da análise dos resultados apresentados pelos boxplots comparativos entre a EE da linha de base e a EE da condição aversiva na segunda atuação musical, observa-se uma mediana ligeiramente superior a zero para a condição da linha de base, e abaixo de zero para a condição aversiva. Quanto à distribuição dos dados, esta é superior para a condição aversiva, ao passo que a linha de base apresenta uma distribuição bastante compacta.



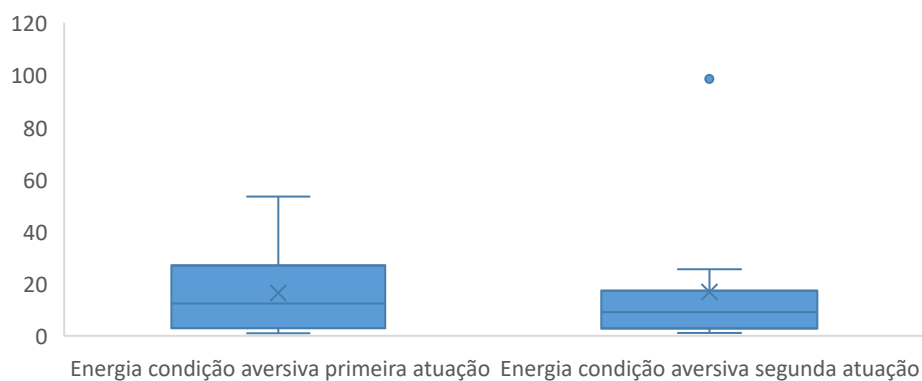
**Figura 11.** Boxplot comparativo entre a entropia espectral da linha de base e a entropia espectral da condição aversiva na segunda atuação musical.

Realizou-se um teste de diferenças (teste de Wilcoxon), uma vez que os dados não seguem uma distribuição normal. Verificou-se uma diferença significativa entre a energia da tarefa de linha de base e a energia do pré-frontal dos estímulos aversivos da segunda atuação  $Z = -2,040$ ,  $p = 0,041$ , à semelhança do que acontece entre a EE da tarefa da linha

de base e a EE do pré-frontal do estímulo aversivo da segunda atuação,  $Z = -2,040$ ,  $p = 0,041$ , onde também se verificam diferenças significativas.

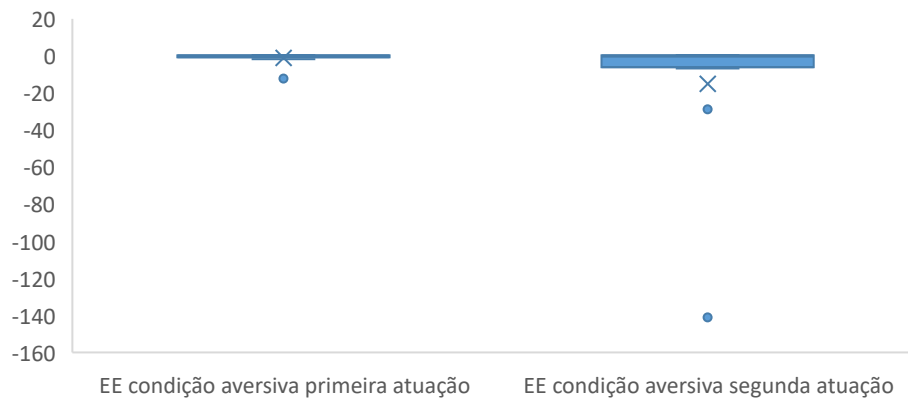
### ***Comparação Entre os Dois Momentos de Atuação Musical – Condição Aversiva***

Os dados exibidos pelos boxplots comparativos entre a energia da condição aversiva de cada atuação, demonstram medianas com valores semelhantes para ambas as condições, no entanto, com um ligeiro decréscimo na resposta para a condição aversiva referente à segunda atuação. O estado aversivo da primeira atuação apresenta um IQR superior e com uma maior variabilidade dos dados.



**Figura 12.** Boxplot comparativo entre a energia da condição aversiva da primeira atuação e a energia da condição aversiva da segunda atuação musical.

Os dados exibidos pelos boxplots comparativos entre a entropia espectral da condição aversiva da primeira e da segunda atuação, evidenciam medianas com valores muito próximos para ambas as condições, que contam, ainda, com uma baixa variabilidade nos dados, no entanto, a condição aversiva da segunda atuação apresenta um IQR superior.



**Figura 13.** Boxplot comparativo entre a entropia espectral da condição aversiva da primeira atuação e a entropia espectral da condição aversiva da segunda atuação musical.

Recorreu-se ao teste de diferenças Wilcoxon, uma vez que os dados não seguem uma distribuição normal. Não se observam diferenças significativas entre a energia do pré-frontal dos estímulos aversivos,  $Z = -0,078$ ,  $p = 0,937$ . O mesmo sucede para o comparativo entre a EE do pré-frontal dos estímulos aversivos,  $Z = -1,020$ ,  $p = 0,308$ , onde não se denotam diferenças significativas.

### **Associação entre a formação musical prévia, os anos de prática e o tipo de instrumento musical com o nível de stress, após a intervenção (H3)**

De modo a testar esta hipótese, foram realizados alguns testes como meio de verificar um conjunto de relações:

#### ***Avaliação do efeito da intervenção com NFDK-fNIRS e o instrumento praticado***

Pressupôs-se que o efeito da intervenção com NFDK-fNIRS iria variar de acordo com o instrumento praticado.

Para testar esta hipótese, foi realizado o teste de U Mann-Whitney para comparar as variâncias da energia do pré-frontal para os estímulos neutros e aversivos, durante a primeira e a última atuação para cada grupo de instrumentos.

Os resultados mostram, para a variância da energia do pré-frontal para os estímulos neutros, um valor de  $z = 0$  e  $p = 1$ , sendo que o valor de  $z$  mostra que a distribuição das classificações não difere da esperada e que, o valor de  $p$  demonstra não existirem diferenças significativas para os grupos comparados.

Quanto à variância da energia do pré-frontal para os estímulos aversivos, o valor de  $z = -1,10$ , apenas indica apenas uma pequena diferença nas distribuições das classificações entre os grupos, no entanto, o valor de  $p = 0,27$  demonstra também não existirem diferenças significativas entre os grupos comparados.

#### ***Avaliação do efeito da intervenção com NFDK-fNIRS e a formação musical prévia***

Formulou-se a hipótese de que o efeito da intervenção com NFDK-fNIRS iria variar de acordo com a formação musical prévia dos participantes.

Com efeito, realizou-se o teste não paramétrico Kruskal-Wallis. Verificou-se que a variância do estímulo neutro da energia do pré-frontal e do estímulo aversivo da energia do pré-frontal, não são significativas, ( $H = 1,60$ ,  $p = 0,45$ ) e ( $H = 0,96$ ,  $p = 0,62$ ) respetivamente.

Assim sendo, não foi possível comprovar a hipótese formulada de que a intervenção com NFDK-fNIRS de facto varia de acordo com a formação musical prévia, uma vez que não se verifica a existência de diferenças estatisticamente significativas.

#### ***Avaliação do efeito da intervenção de NFDK-fNIRS em relação aos anos de prática musical***

Foi postulado que o efeito da intervenção com NFDK-fNIRS iria variar de acordo com os anos de prática musical. Para testar esta hipótese, realizou-se uma regressão linear de modo a verificar se a variação no estímulo aversivo era afetada pelo número de anos de estudo.

Recorreu-se à seguinte fórmula de modo a perceber se os resultados eram estatisticamente significativos:  $R^2 = 0,001$ ,  $F(1, 10) = 0,005$ ,  $p = 0,943$

Através dos resultados obtidos, é possível verificar que o elevado valor de  $p$  não é significativo ( $p > 0,05$ ). Quer isto dizer, não há evidência suficiente para concluir que a variável independente (intervenção de NFDK-fNIRS) tenha um impacto significativo na variável dependente (anos de prática musical).

## **Discussão e Conclusão**

Para a realização deste estudo, foi desenhado um protocolo para estudar a viabilidade de uma intervenção de NFDK-fNIRS na APM em músicos portugueses, profissionais e amadores. Este protocolo envolveu a realização de duas performances musicais em momentos distintos, bem como a realização de uma tarefa de linha de base e outras três tarefas durante a sessão de NFDK-fNIRS.

Os resultados deste estudo indicam que o protocolo NFDK-fNIRS é viável quando aplicado durante um protocolo ecológico (i.e., que exige a performance musical e a realização de uma sessão de NFDK simultaneamente), assim como, na captação de sinais de qualidade de fNIRS. Observou-se que o protocolo foi seguido de forma sólida pelos participantes, sem relatos de desconforto relativos aos equipamentos utilizados e ao esforço de realizar duas tarefas em simultâneo, sugerindo uma boa aceitação dos procedimentos.

Estes resultados estão em consonância com a literatura existente, que reconhece a importância da utilização de ferramentas de neuroimagem que precisam superar características limitantes, como posturas restritivas, bem como ruído de fundo constante provocado pelos instrumentos, que podem interferir nos estímulos musicais (Curzel et al., 2024). A eficácia do protocolo em monitorizar os sinais fNIRS sem perdas significativas ou artefactos, reforça a sua aplicabilidade, especialmente em contextos onde a APM é predominante. A capacidade do protocolo em medir a atividade cerebral através do fNIRS, oferece uma solução válida para superar desafios como os supramencionados, permitindo a execução de experimentos em ambientes ecológicos (Balardin et al., 2017) e com várias populações.

A ausência de flutuações atípicas nos dados recolhidos sugere que o protocolo conseguiu capturar com precisão a atividade cerebral nas áreas alvo dos participantes sem interferências significativas, o que é crucial para estudos futuros que pretendam explorar intervenções no controlo da APM (Curzel et al., 2024)

O presente estudo procurou ainda responder se o protocolo proposto era eficaz na redução da atividade cerebral dos participantes, conforme medido pelo fNIRS. Por exemplo, em relação à segunda hipótese, observou-se uma significativa redução nos níveis de EE e energia no córtex pré-frontal dos participantes após a realização do protocolo de NFDK-fNIRS. Observando a comparação entre a linha de base e as condições neutras e aversivas nas duas atuações musicais, a entropia espectral, indicadora da complexidade e variabilidade dos padrões de atividade cerebral, aumentou durante as

condições de atuação, particularmente em situações aversivas. Esse aumento pode ser compreendido como reflexo de um maior esforço cognitivo e emocional envolvido na regulação da APM. No entanto, após a intervenção com NFDK-fNIRS, houve uma diminuição gradual da EE, sugerindo que o protocolo ajudou a estabilizar a atividade cerebral, potencialmente facilitando a regulação emocional dos participantes. Estes achados vão ao encontro de estudos anteriores, que indicam que a EE tende a diminuir à medida que o indivíduo aprende a controlar o padrão de responsividade emocional em contextos de stress (Papageorgi et al., 2013; Brugués, 2011). A eficácia desta intervenção não foi um dos objetivos deste estudo, uma vez que, conforme sugerido por Weyand et al. (2015) e Thibault et al. (2018), são necessárias pelo menos dez sessões para observar efeitos consistentes em intervenções NFDK-fNIRS.

Adicionalmente, a análise da energia cerebral também indicou uma tendência de aumento durante as condições de atuação, especialmente nas situações aversivas, o que seria de esperar, devido ao maior nível de ativação cerebral necessário para lidar com o stress e a avaliação crítica. Os resultados sugerem que o NFDK-fNIRS pode ser uma ferramenta eficaz na modulação dos padrões de ativação cerebral associados à APM (Tseng et al., 2018). Vários autores têm defendido que o feedback fornecido permite ao músico identificar e tomar consciência das próprias reações psicofisiológicas, encorajando-o a aprender a alterá-las de forma voluntária (Petsche et al., 1988; West, 2009).

Relativamente aos anos de prática e à formação musical prévia, os resultados obtidos sugerem que ambas as variáveis não influenciaram a modulação do stress em resposta às condições experimentais utilizadas neste estudo, no entanto, como discutido anteriormente, o presente estudo não permite explorar a eficácia da intervenção devido a realização de apenas uma sessão de NFDK-fNIRS. É importante realçar que, conforme discutido na literatura, a APM pode estar presente tanto em músicos amadores como em músicos profissionais, independentemente da experiência profissional (Kenny, 2011). No entanto, músicos com um background musical mais robusto tendem a experienciar níveis mais baixos de APM (Studer et al., 2011), devido a uma maior familiaridade com as situações de performance e ao desenvolvimento de estratégias de coping mais eficazes (Papageorgi et al., 2013; Egner & Gruzelier, 2003).

O presente estudo também não encontrou evidências significativas de que os diferentes instrumentos tocados pelos músicos realmente sejam um fator preditor de diferenças no tratamento de NFDK-fNIRS. A literatura refere que a APM está presente,

independentemente do instrumento tocado, podendo até ocorrer em cantores (Barbar, 2014). Com base nos grupos de instrumentos utilizados nesta intervenção (sopros e cordas), outros estudos mostram que instrumentistas de sopro, por exemplo, estão expostos a um aumento na APM devido à necessidade de um maior controlo respiratório (Wilson & Roland, 2002), (Kenny, 2005). Por outro lado, instrumentistas de cordas, frequentemente ligados a atuações como solistas, podem experienciar uma maior pressão e, conseqüentemente, níveis mais altos de APM (Yoshie et al., 2009) pela exposição prolongada e pela expectativa de desempenho técnico e expressivo mais elevado durante as apresentações solo. Posto isto, poderia esperar-se um efeito significativo da intervenção com NFDK-fNIRS sobre o instrumento praticado, dado que a literatura de facto evidencia que a técnica é capaz de aumentar a atividade em regiões do cérebro associadas à diminuição do stress psicológico e reduzir a atividade em regiões associadas à ansiedade (Irani et al., 2007), (Kober et al., 2014).

### **Limitações do estudo**

Este estudo apresenta algumas limitações inerentes ao seu carácter de viabilidade que poderão ser abordadas em futuros estudos. Primeiramente, este estudo foi realizado com apenas uma única sessão de intervenção por participante. Embora os resultados tenham demonstrado que o protocolo é viável, a eficácia da intervenção não pode ser avaliada, já que a literatura sugere um mínimo de dez sessões para observar efeitos consistentes em intervenções NFDK-fNIRS (Weyand et al., 2015; Thibault et al., 2018). Essa característica limita a possibilidade de tirar conclusões sobre os efeitos a longo prazo do protocolo. Em acréscimo, a variabilidade na experiência musical dos participantes, incluindo os anos de prática e a formação musical prévia, pode ser uma fonte de influência em estudos futuros. Sugere-se que futuros estudos considerem também a padronização desses fatores ou, alternativamente, realizem uma análise mais detalhada do impacto de tais variáveis na viabilidade e eficácia do protocolo.

Finalmente, as condições laboratoriais que foram controladas para simular um contexto real de performance e percepção por parte dos músicos sobre uma avaliação constante pelo público (ou no caso deste estudo, de um júri), o que incluiu a simulação do júri e os estímulos aversivos, podem não refletir com precisão as condições reais existentes num contexto de performance musical. A ausência de importantes fatores chave (e.g., presença de público, condições acústicas e outras pressões contextuais) pode ter influenciado os níveis de stress dos participantes. Para aumentar a validade ecológica dos

resultados, seria importante replicar o protocolo em contextos mais naturais, onde os músicos possam realizar performances genuínas.

### **Contribuições futuras**

O presente estudo abre caminho para diversas direções futuras na investigação do uso de NFDK-fNIRS para a APM. Sugere-se, futuramente, uma investigação que possa explorar os efeitos de intervenções mais prolongadas, incluindo múltiplas sessões de NFDK-fNIRS, para avaliar a eficácia a longo prazo e a sustentação dos benefícios observados. Seria também possível, assim, uma melhor compreensão da temporalidade dos efeitos terapêuticos.

Além disso, estudos futuros com amostras maiores e mais diversificadas seriam cruciais para contribuir de uma forma mais robusta para este campo, aumentando a validade externa e permitindo a generalização dos resultados para a população. A inclusão de grupos de controlo iria também fortalecer as conclusões acerca dos efeitos reais desta técnica em ascensão na APM.

## Referências Bibliográficas

- Amaro, E., Jr, & Barker, G. J. (2006). Study design in fMRI: basic principles. *Brain and cognition*, 60(3), 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2005.11.009>
- Al-Shargie, F., Katmah, R., Tariq, U., Babiloni, F., Al-Mughairbi, F., & Al-Nashash, H. (2022). Stress management using fNIRS and binaural beats stimulation. *Biomedical Optics Express*, 13(6), 3552. <https://doi.org/10.1364/boe.455097>
- Associação Médica Mundial. (2013). Declaração de Helsínquia da Associação Médica Mundial: Princípios éticos para a investigação médica em seres humanos. Recuperado de <http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3/>
- Balardin, J. B., Zimeo Morais, G. A., Furucho, R. A., Trambaiolli, L., Vanzella, P., Biazoli, C., & Sato, J. R. (2017). Imaging Brain Function with Functional Near-Infrared Spectroscopy in Unconstrained Environments. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00258>
- Barbar, A. E., Crippa, J. A. & Osório, F. L. (2014). Parameters for screening music performance anxiety. *Brazilian Journal of Psychiatry*, 36(3), 245–247. <https://doi.org/10.1590/1516-4446-2013-1335>
- Barlow, D. H. (2000). Unraveling the mysteries of anxiety and its disorders from the perspective of emotion theory. *American Psychologist*, 55(11), 1247–1263. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.11.1247>
- Barth, B., Strehl, U., Fallgatter, A. J., & Ehlis, A.-C. (2016). Near-Infrared Spectroscopy based Neurofeedback of Prefrontal Cortex Activity: A Proof-of-Concept Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00633>
- Bigand, E., & Tillmann, B. (2021). Near and far transfer: Is music special? *Memory & Cognition*. <https://doi.org/10.3758/s13421-021-01226-6>
- Brugués, A. O. (2019). *Music Performance Anxiety: A Comprehensive Update of the Literature*. Cambridge Scholars Publishing.
- Burin, A. B., Osório, F. L. (2017). Ansiedade no desempenho musical: revisão crítica dos aspectos etiológicos, causas percebidas, estratégias de enfrentamento e tratamento. *Arquivos de Psiquiatria Clínica*, 44(5), 127–133.
- Cacioppo, J., Tassinary, L., & Berntson, G. (Eds.). (2016). *Handbook of Psychophysiology* (4th ed., Cambridge Handbooks in Psychology). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781107415782

- Castillo, A. R. G., Recondo, R., Asbahr, F. R., & Manfro, G. G. (2000). Transtornos de ansiedad. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, 22, 20–23. <https://doi.org/10.1590/s1516-44462000000600006>
- Curzel, F., Tillmann, B., & Ferreri, L. (2024). Lights on music cognition: A systematic and critical review of fNIRS applications and future perspectives. *Brain and Cognition*, 180, 106200–106200. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2024.106200>
- Daly, I., Williams, D., Hwang, F., Kirke, A., Miranda, E. R., & Nasuto, S. J. (2019). Electroencephalography reflects the activity of sub-cortical brain regions during approach-withdrawal behaviour while listening to music. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45105-2>
- Delpy, D. T., Cope, M., van der Zee, P., Arridge, S., Wray, S., & Wyatt, J. (1988). Estimation of optical pathlength through tissue from direct time of flight measurement. *Physics in medicine and biology*, 33(12), 1433–1442. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/33/12/008>
- Egner, T., & Gruzelier, J. H. (2003). Ecological validity of neurofeedback: modulation of slow wave EEG enhances musical performance. *NeuroReport*, 14(9), 1221. [https://journals.lww.com/neuroreport/abstract/2003/07010/ecological\\_validity\\_of\\_neurofeedback\\_modulation.6.aspx](https://journals.lww.com/neuroreport/abstract/2003/07010/ecological_validity_of_neurofeedback_modulation.6.aspx)
- Etkin, A., & Wager, T. D. (2007). Functional neuroimaging of anxiety: a meta-analysis of emotional processing in PTSD, social anxiety disorder, and specific phobia. *The American Journal of Psychiatry*, 164(10), 1476–1488. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2007.07030504>
- Fehm, L., & Schmidt, K. (2006). Performance anxiety in gifted adolescent musicians. *Journal of Anxiety Disorders*, 20(1), 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2004.11.011>
- Gembris, H., & Heye, A. (2014). Growing older in a symphony orchestra: The development of the age-related self-concept and the self-estimated performance of professional musicians in a lifespan perspective. *Musicae Scientiae*, 18(4), 371–391. <https://doi.org/10.1177/1029864914548912>
- Gorges, S., Alpers, G. W. & Pauli, P. (2007). Musical Performance Anxiety as a Form of Social Anxiety?. *Proceedings of the International Symposium on Performance Science 2007*, 67–72.

- Hammond, D. (2005). Neurofeedback with anxiety and affective disorders. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 14(1), 105–123. <https://doi.org/10.1016/j.chc.2004.07.008>
- Ilari, B. (2003). A música e o cérebro: algumas implicações do neurodesenvolvimento para a educação musical. *Revista da ABEM*. Available from: [http://abemeducacaomusical.com.br/revista\\_abem/ed9/revista9\\_artigo1.pdf](http://abemeducacaomusical.com.br/revista_abem/ed9/revista9_artigo1.pdf)
- Irani, F., Platek, S. M., Bunce, S., Ruocco, A. C., & Chute, D. (2007). Functional Near Infrared Spectroscopy (fNIRS): An Emerging Neuroimaging Technology with Important Applications for the Study of Brain Disorders. *The Clinical Neuropsychologist*, 21(1), 9–37. <https://doi.org/10.1080/13854040600910018>
- Jirsa, V., & Sheheitli, H. (2022). Entropy, free energy, symmetry and dynamics in the brain. *Journal of Physics: Complexity*, 3(1), 015007.
- Kalenska-Rodzaj, J. (2020). Pre-performance emotions and music performance anxiety beliefs in young musicians. *Research Studies in Music Education*, 42, 77–93. <https://doi.org/10.1177/1321103x19830098>
- Kang, J., Jeong, S. O., Pae, C., & Park, H. J. (2021). Bayesian estimation of maximum entropy model for individualized energy landscape analysis of brain state dynamics. *Human brain mapping*, 42(11), 3411–3428.
- Keshmiri, S. (2020). Entropy and the brain: An overview. *Entropy*, 22(9), 917.
- Kenny, D., Davis, P., & Oates, J. (2004). Music performance anxiety and occupational stress amongst opera chorus artists and their relationship with state and trait anxiety and perfectionism. *Journal of Anxiety Disorders*, 18(6), 757–777. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2003.09.004>
- Kenny, D. (2005). A Systematic review of treatments for music performance anxiety. *Anxiety, Stress & Coping*. 18(3), 183–208
- Kenny, D. T., & Osborne, M. S. (2006). Music performance anxiety: New insights from young musicians. *Advances in Cognitive Psychology*, 2, 103–112. DOI:[10.2478/v10053-008-0049-5](https://doi.org/10.2478/v10053-008-0049-5)
- Kenny, D. (2011). The psychology of music performance anxiety. *Oxford University Press*. Vol. 6, Chapter 1, pp. 1–13.
- Kenny, D., & Ackermann, B. (2015). Performance-related musculoskeletal pain, depression and music performance anxiety in professional orchestral musicians: A population study. *Psychology of Music*, 43(1), 43–60. Available from: [https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0305735613493953?casa\\_token=teF2](https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0305735613493953?casa_token=teF2)

[YPd86bAAAAAA:UqcXAMDSs7KZQjaS1GYXOCLVu8pB8fGetEglZm\\_9tiF-2XuoEGBbbyKR89vXMqL\\_oehPoJQRGvpE](https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.05.005)

- Kober, S. E., Wood, G., Kurzmann, J., Friedrich, E. V. C., Stangl, M., Wippel, T., Våljamäe, A., & Neuper, C. (2014). Near-infrared spectroscopy based neurofeedback training increases specific motor imagery related cortical activation compared to sham feedback. *Biological Psychology*, *95*, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.05.005>
- Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature Reviews Neuroscience*, *15*(3), 170–180. <https://doi.org/10.1038/nrn3666>
- Lühns, M., Goebel, R. (2017). Turbo-Satori: a neurofeedback and brain–computer interface toolbox for real-time functional near-infrared spectroscopy. <https://doi.org/10.1117/1.NPh.4.4.041504>
- Marshall, A. J. (2008). Perspectives about musicians’ performance anxiety. University of Pretoria.
- Martins, C. (2011). Manual de análise de dados quantitativos com recurso ao IBM SPSS: Saber decidir, fazer, interpretar e redigir. *Psiquilibrios*
- McGrath, C., Hendricks, K. S., & Smith, T. D. (2016). Performance Anxiety Strategies: A Musician’s Guide to Managing Stage Fright. In *Google Books*. Rowman & Littlefield. [https://books.google.pt/books?id=1IQnDQAAQBAJ&pg=PA1&hl=pt-PT&source=gbs\\_toc\\_r&cad=1#v=onepage&q&f=false](https://books.google.pt/books?id=1IQnDQAAQBAJ&pg=PA1&hl=pt-PT&source=gbs_toc_r&cad=1#v=onepage&q&f=false)
- Mueller, K., Mildner, T., Fritz, T., Lepsien, J., Schwarzbauer, C., Schroeter, M. L., & Möller, H. E. (2011). Investigating brain response to music: A comparison of different fMRI acquisition schemes. *NeuroImage*, *54*(1), 337–343. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.08.029>
- “NIRSite 2.0.” [Online]. Disponível em: <https://nirx.net/nirsite>
- Organização Mundial de Saúde (2016). Diretrizes éticas internacionais para pesquisas relacionadas a saúde envolvendo seres humanos
- Ordem dos Psicólogos Portugueses (2021). Código Deontológico da Ordem dos Psicólogos Portugueses – versão consolidada.
- Osborne, M. S., & Kenny, D. T. (2005). Development and validation of a music performance anxiety inventory for gifted adolescent musicians. *Journal of Anxiety Disorders*, *19*(7), 725–751. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2004.09.002>

- Papageorgi, I., Hallam, S. & Welch, G. F. (2007). A Conceptual Framework for Understanding Musical Performance Anxiety. *Research Studies in Music Education* 28 (1): 83–107.
- Papageorgi I. (2014). Desenvolver e manter expertise em performance musical. In Papageorgi I., Welch G. (Eds.), *Performance musical avançada: investigações na aprendizagem do ensino superior* (pp. 303-318). SEMPRE estuda psicologia da música. Imprensa Ashgate.
- Papageorgi I., R. Kopiez (2018). Aspectos psicológicos e fisiológicos da aprendizagem do desempenho. In McPherson G., Welch G. (Eds.), *The Oxford handbook of music education (Vol. 3 – Vocal, instrumental, and ensemble learning and teaching: An Oxford handbook of music education)* (pp.184-208). Imprensa da Universidade de Oxford.
- Papageorgi, I. (2022). Prevalência e preditores de ansiedade para o desempenho musical em adolescentes aprendizes: contribuições de fatores individuais, relacionados à tarefa e ambientais. *Músicas*, 26(1), 101-122. <https://doi.org/10.1177/1029864920923128>
- Petsche, H., Linder, K., Rappelsberger, P., & Gruber, G. (1988). The EEG: An Adequate Method to Concretize Brain Processes Elicited by Music. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 6(2), 133–159. <https://doi.org/10.2307/40285422>
- Pinti, P., Tachtsidis, I., Hamilton, A., Hirsch, J., Aichelburg, C., Gilbert, S., & Burgess, P. W. (2020). The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1464(1), 5–29. <https://doi.org/10.1111/nyas.13948>
- Quaresima, & Ferrari. (2019). A Mini-Review on Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS): Where Do We Stand, and Where Should We Go? *Photonics*, 6(3), 87. <https://doi.org/10.3390/photonics6030087>
- Ribeiro, P. (2022). EEG and ECG nonlinear and spectral multiband analysis to explore the effect of videogames against anxiety.
- Ryan, C. (2005). Experience of Musical Performance Anxiety in Elementary School Children. *International Journal of Stress Management*, 12(4), 331-342.
- Rogenmoser, L., Zollinger N, Elmer S, Jäncke L. (2016). Independent component processes underlying emotions during natural music listening. *Soc Cogn Affect Neurosci*. 11(9):1428–39. Available from: <https://academic.oup.com/scan/article/11/9/1428/2223448>

- Salmon, P. G. (1990). A Psychological Perspective on Musical Performance Anxiety: A Review of the Literature. *Medical Problems of Performing Artists*, 5(1), 2–11. [https://www.jstor.org/stable/pdf/45440271.pdf?casa\\_token=BuyCTsVS860AAAAA:Jx8XIfWCCZqcOwz6fPMsQWPRudHzBS3AfWB3dGAZOSO6005oV5JmYnjRRd4O1ccdZI736t1nmCAGR6YYRqj\\_TWxNvKzLoZwFxFxKapLPbpYKJQ0wxF5Ew](https://www.jstor.org/stable/pdf/45440271.pdf?casa_token=BuyCTsVS860AAAAA:Jx8XIfWCCZqcOwz6fPMsQWPRudHzBS3AfWB3dGAZOSO6005oV5JmYnjRRd4O1ccdZI736t1nmCAGR6YYRqj_TWxNvKzLoZwFxFxKapLPbpYKJQ0wxF5Ew)
- Scherer, L., Kahlaoui, K., & Ansaldo, A. (2009). Espectrografia Funcional de Infravermelho Próximo (fNIRS): a técnica e sua aplicação em estudos da linguagem. *Neuropsicologia Latina*, 57-62 Available from: <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/rnl/v1n1/v1n1a07.pdf>
- Shimada, S., Hiraki, K., & Oda, I. (2005). The parietal role in the sense of self-ownership with temporal discrepancy between visual and proprioceptive feedbacks. *NeuroImage*, 24(4), 1225–1232. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.10.039>
- Southcott, J. & Simmonds, J. (2008). Performance Anxiety and the inner critic: A case study. *Australian Journal of Music Education*, 32-37.
- Schwartz, M., & Andrasik, F. (2016). *Biofeedback: A Practitioner's guide 4th ed.*
- Thibault, R. T., MacPherson, A., Lifshitz, M., Roth, R. R., & Raz, A. (2018). Neurofeedback com fMRI: uma revisão sistemática crítica. *Neuroimagem*, 172, 786–807. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.12.071>
- Tseng, Y. L., Lu, C. F., Wu, S. M., Shimada, S., Huang, T., & Lu, G. Y. (2018). Estudo por Espectroscopia no Infravermelho Próximo Funcional da Ansiedade de Estado e da Carga de Memória de Trabalho Auditiva. *Fronteiras da neurociência humana*, 12, 313. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00313>
- Van Kemanade, J. F., Van Son, M. J. & Van Heesch, N. C. (1995). Performance anxiety among professional musicians in symphonic orchestras: A self-report study. *Psychological Report*, 77, 555-562.
- Vervainioti A., Alexopoulos E. C. (2015). Estressores relacionados ao trabalho de músicos instrumentais clássicos: uma revisão qualitativa sistemática. *Problemas Médicos de Artistas Performáticos*, 30(4), 197–202.
- Wesner, R. B., Noyes, R. & Davis, T. L. (1990). The occurrence of performance anxiety among musicians. *Journal of Affective Disorders*, 18, 177-185.
- West, K. (2009). *Biofeedback*. Infobase Publishing.
- Weyand, S., Takehara-Nishiuchi, K., & Chau, T. (2015). Desmame de tarefas mentais para alcançar o controle autorregulatório voluntário de uma interface cérebro-

- computador de espectroscopia de infravermelho próximo. *Transações IEEE em sistemas neurais e engenharia de reabilitação: uma publicação da IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 23(4), 548–561.  
<https://doi.org/10.1109/TNSRE.2015.2399392>
- Wilson G. D. & Roland D. (2002). Performance Anxiety. In R. Parncutt and G. E. McPherson (Eds.), *The Science and Psychology of Music Performance* (pp. 47-61). Oxford: Oxford University Press.
- Yonden, Z. (2007). Performance Anxiety, Dysfunctional attitudes and gender in University music students. *Social Behavior and Personality*, 35 (10), 1415-1426.
- Yoshie, M., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2008). Effects of Psychological Stress on State Anxiety, Electromyographic Activity, and Arpeggio Performance in Pianists. *Medical Problems of Performing Artists*, 23(3), 120–132.  
<https://doi.org/10.21091/mppa.2008.3024>
- Zatorre, R. (2005). Music, the food of neuroscience? *Nature*, 434(7031), 312–315.  
<https://doi.org/10.1038/434312a>