

O Impacto do Neurofeedback na Neuroplasticidade

Pedro Mateus da Silva Gallo, Medicina, Centro Universitário Integrado, Brasil

Luiz Alexandre Swartz Frederick , Medicina, Centro Universitário Integrado, Brasil

Maisa Souza Martins, Medicina, Centro Universitário Integrado, Brasil

Rodolfo Antonio Presa da Silva, Medicina, Centro Universitário Integrado, Brasil

Heloísa Grigoli Paro, Medicina, Centro Universitário Integrado, Brasil

Gustavo Henrique Zaiatz da Silva, Medicina, Centro Universitário Integrado, Brasil

Hilan Dlon Paz Pinto, Medicina, Centro Universitário Integrado, Brasil

Amanda Nunes Santiago Hubner, Departamento de Medicina, Centro
Universitário Integrado, Brasil

amanda.santiago@grupointegrado.br

Rodrigo Hubner, DACOM, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil,
rodrigohubner@utfpr.edu.br

O neurofeedback, uma técnica que permite a modulação da atividade cerebral em tempo real, tem demonstrado potencial para promover a neuroplasticidade ao reorganizar e fortalecer conexões neurais. Estudos indicam que ele pode aumentar a mielinização e o volume da substância cinzenta em regiões associadas a funções cognitivas e emocionais, como observado em pacientes com TDAH. A prática também mostra-se promissora para condições como esquizofrenia, ansiedade e transtornos de estresse, além de contribuir para a reabilitação motora. Em crianças com TDAH, o neurofeedback mostrou uma rápida resposta neural, reduzindo a relação teta/beta, especialmente em atividades de leitura. Esses achados destacam o potencial do neurofeedback como uma intervenção versátil, capaz de induzir mudanças cerebrais que persistem após o tratamento.

Palavras-chave: Neuroplasticidade; Neurofeedback; Neuroterapias; Reabilitação Cognitiva; Treinamento Cerebral

Neurofeedback, a technique that enables real-time modulation of brain activity, has shown potential in promoting neuroplasticity by reorganizing and strengthening neural connections. Studies indicate that it can increase myelination and gray matter volume in regions associated with cognitive and emotional functions, as observed in patients with ADHD. The practice also appears promising for conditions such as schizophrenia, anxiety, and stress disorders, as well as contributing to motor rehabilitation. In children with ADHD, neurofeedback has demonstrated a rapid neural response, reducing the theta/beta ratio, especially in reading activities. These findings highlight neurofeedback's potential as a versatile intervention capable of inducing brain changes that persist after treatment.

Keywords: Neuroplasticity; Neurofeedback; Neurotherapeutics; Cognitive Rehabilitation; Brain Training.

INTRODUÇÃO

O cérebro humano, ao longo de sua vida pode se modificar com diferentes estímulos que são trazidos pelos nossos sentidos, tais estímulos nos induzem a aprender determinado fato ou tarefa. As modificações necessárias para aprendermos algo são obtidas através de novas conexões, reforço ou enfraquecimento de conexões pré-existentes. Essas adaptações nas redes neurais são chamadas de neuroplasticidade, que consiste em criar, reorganizar as estruturas cerebrais, levando a modificações na substância branca, bem como alterações no volume e na estrutura da substância cinzenta. Dessa forma, podemos modular a criação de novas sinapses através de exercícios cognitivos, tais como leitura, arte e estudos variados. Dito isso, alguns protocolos comportamentais vêm surgindo em um contexto clínico com o objetivo de aprimorar estímulos cerebrais por meio de jogos, vídeos ou até músicas. Esses exercícios cognitivos são estruturados e estabelecidos através de protocolos comportamentais, como por exemplo o neurofeedback (Loriette; Ziane; Ben Hamed, 2021).

O neurofeedback é obtido através da interface humano-computador através de um treinamento cognitivo. Esse instrumento permite que, em tempo real, se tenha o feedback sobre a atividade cerebral do voluntário, com isso, o mesmo começa a ter maior capacidade de regular suas funções neurais no seu dia-a-dia (Marchi et al., 2024).

O protocolo de neurofeedback pode ser realizado através de algumas ferramentas, como por exemplo: o EEG (eletroencefalograma). Esse método basicamente culmina na obtenção das ondas alpha, gamma, beta e theta que tem uma frequência funcional específica em tempo real das atividades elétricas neurais dos participantes e, através dessas ondas, é possível avaliar qual segmento está falhando e qual precisa de um novo estímulo. Assim podemos reforçar estímulos positivos com o neurofeedback positivo (recompensas ao indivíduo), e modular áreas que precisam de neurofeedback negativo. Esses feedbacks podem ser realizados de diversas maneiras, utilizando recompensas auditivas e/ou visuais. Através desses estímulos é possível treinar o participante para que aprenda a aumentar ou diminuir a amplitude das frequências específicas das ondas (Loriette, 2021; Marins, 2019).

A capacidade humana de adquirir autocontrole sobre a atividade eletrofisiológica e perceber esses processos através do aprendizado redefiniu a compreensão de que apenas processos corporais poderiam ser percebidos. Essa habilidade é explorada em métodos como a Interface Cérebro-Computador (BCI) e o Neurofeedback (NFB), amplamente utilizados como tratamento adjunto em várias patologias, como reabilitação pós-AVC, TDAH, insônia, dor, dependência e depressão (Marchi et al., 2024).

Como tal assunto ainda é pouco explorado e há um campo bem diversificado sobre os protocolos de neurofeedback, a presente revisão tem como objetivo

apresentar uma seleção de estudos e pesquisas relacionadas a neurofeedback e neuroplasticidade. Inicialmente, mostraremos os conceitos fundamentais de cada assunto, seguido da análise da relação entre ambos. Por fim, exploraremos como o neurofeedback e seus diferentes protocolos podem influenciar a neuroplasticidade e ser benéfico para a mesma e, com isso, levantar dados atuais para futuras pesquisas.

MÉTODO

Para o desenvolvimento do artigo foi realizada uma pesquisa com foco na revisão sistemática da literatura sobre as relações entre neurofeedback e neuroplasticidade. A pesquisa foi conduzida em bases de dados eletrônicas, especificamente PubMed, National Library of Medicine e Scholar Google abrangendo artigos publicados nos últimos 12 anos. Utilizaram-se descritores como "Neuroplasticity", "Neurofeedback", "Neurotherapeutics", "Cognitive Rehabilitation", "Brain Training" e "Ondas Cerebrais" para direcionar a busca. A partir disso, os critérios de elegibilidade foram definidos, sendo eles os trabalhos que abrangem a temática de forma ampla, trazendo exemplos aplicáveis e factícios sobre a nova tecnologia. Já os critérios de exclusão se baseiam em textos que não ofereceram riqueza teórica ou suficiente sobre as bases do neurofeedback e sua utilização aplicada na pesquisa. Os dados foram organizados e tratados qualitativamente, proporcionando uma visão abrangente dos resultados encontrados na literatura.

REVISÃO DE LITERATURA

Após a aplicação dos critérios de inclusão, foram selecionados um total de 12 artigos que atendiam aos requisitos estabelecidos. A análise desses artigos permitiu identificar padrões e tendências relevantes nas evidências sobre a temática em questão, contribuindo para uma compreensão aprofundada dos efeitos do neurofeedback na neuroplasticidade.

Quando se fala sobre o neurofeedback há suposições sobre como ele age na neuroplasticidade, havendo duas explicações mais aceitas. A primeira explicação se baseia no estímulo de uma região específica do cérebro com efeitos observáveis e controláveis sobre o comportamento. Já a segunda se baseia no controle direto sobre os cálculos cerebrais internos, desde que o indivíduo tenha acesso aos padrões neuronais em tempo real. Sendo assim, essas medições podem ser feitas através de eletroencefalograma (EEG), eletrocorticografia (ECOG), magnetoencefalografia (MEG) e gravação de ressonância magnética funcional (fMRI) (Loriette; Ziane; Ben Hamed, 2021).

Os estudos com neurofeedback relatam que há mudanças na função neural desde a primeira sessão, sendo capaz de durar dias ou semanas após o treinamento, além de promover possíveis mudanças comportamentais. Por fim, o uso de pacientes controle, os quais recebem um "falso neurofeedback", não

apresentam os mesmos resultados, confirmando a importância de realizar maiores pesquisas clínicas com o neurofeedback (Marins et al., 2019).

Ademais, novas suposições são feitas sobre o mecanismo de ação dessa metodologia de modulação neuronal. Alguns trabalhos utilizaram em conjunto o EEG, fMRI e neurofeedback e relataram atividade aumentada no tálamo, sugerindo um desencadeamento do aprendizado por reforço e plasticidade cerebral. Além disso, um estudo de meta-análise demonstrou que os protocolos utilizados nessa abordagem apresentam ativação aumentada no estriado, sendo essa região igualmente importante para aprendizado por reforço (Loriette; Ziane; Ben Hamed, 2021).

No contexto do uso desse método em patologias que envolvem perda de cognição, foram observadas algumas alterações em pacientes com AVC. Essa pesquisa foi conduzida com 2 pacientes em estado crônico, um homem de 72 anos que sofria de hemorragia subaracnóidea não traumática (ocorrida há 27 meses) nas regiões parieto-temporais e lesões bilaterais na área occipital-parietal e frontal, sem déficits motores. Durante os testes neurofisiológicos foi percebido uma deficiência cognitiva em diferentes partes da memória. O outro candidato de 73 anos sofreu um AVC isquêmico há 70 meses. Este causado por trombose na artéria cerebral média esquerda, o indivíduo não teve déficits motores e na escala neurofisiológica mostrou também um déficit de memória. Para avaliar os possíveis efeitos do treinamento com neurofeedback esses pacientes, realizam antes do treinamento testes neurofisiológicos, como: funções executivas, memória de longo e curto prazo e de trabalho para determinar com maior exatidão o efeito terapêutico do protocolo. Para isso foram utilizados os subtestes de Performance de atenção (TAP) e teste de bateria (zimmermann), teste de memória visual e verbal (VVM2). Os pacientes apresentaram melhorias tanto na memória de curto quanto na de longo prazo. Os autores relataram que tal melhora foi obtida devido a uma relação positiva entre ondas Alpha e memória (Kober et al., 2017).

O impacto do neurofeedback na plasticidade neural também foi analisado no contexto de crianças com TDAH, especialmente os efeitos da terapia de curto prazo. Nesse sentido, o treinamento com neurofeedback costuma apresentar melhorias nas funções cerebrais do indivíduo a partir de 20 sessões, em adultos já são conhecidos resultados que demonstram avanços da atividade neural com menos tempo de terapia. Nestes estudos o treinamento de neurofeedback foi realizado com atividades de quebra-cabeças, leitura e busca por imagens, além disso, os efeitos foram observados por EEG com a relação das ondas cerebrais teta/beta. As ondas beta estão relacionadas a situações de foco, resolução de problemas analíticos e percepção do que ocorre ao redor. As ondas teta, por sua vez, são classificadas como ondas lentas, associadas a estados de fantasia, intuição e criatividade. Perante o exposto, na segunda sessão de neurofeedback as crianças com TDAH passaram a apresentar uma diminuição significativa da relação teta/beta, pela redução da atividade da onda teta, isso demonstrou uma neurorregulação rápida e com êxito para o grupo participante, além disso, as mudanças mais expressivas foram visualizadas principalmente nas tarefas de leitura (Van Doren, 2016; Botura, 2016).

Os transtornos de ansiedade implicam nos principais fatores para morbidade no mundo segundo organização mundial de saúde (OMS), que a longo prazo podem acarretar em prejuízos para as pessoas quando não estabelecida uma terapia adequada (Ethan et al., 2013). Estudos apontam que com o neurofeedback é capaz de ser eficiente para ajudar a reduzir os sintomas da ansiedade, evidenciando que os pacientes aprenderam a auto regular sua resposta neural frente a um evento estressor. Os resultados apontam que houve melhora dos sintomas e que perdurou por vários dias (Scheinost et al., 2013).

Quando saímos do âmbito comportamental e cognitivo para modulações motoras, também há pesquisas que utilizam o neurofeedback. A utilização do fMRI com protocolos de neurofeedback para reabilitação de pacientes com perda de movimentos nos dedos das mãos. Este estudo mostrou que sinais eletrofisiologicamente registráveis eram mais controláveis quando os padrões de atividade neuronal eram observáveis pelos próprios pacientes em tempo real (Oblak; Lewis-Peacock; Sulzer, 2021).

Nessa mesma linha, o treinamento de neurofeedback pode ser avaliado em pacientes portadores da doença de Huntington, uma patologia neurodegenerativa autossômica dominante. A doença afeta a habilidade motora e por fim cognitiva, assim os autores avaliaram se o neurofeedback poderia melhorar o desempenho motor e cognitivo de pacientes com Huntington. O resultado final, demonstrou que o protocolo de neurofeedback induziu a neuroplasticidade nesses pacientes com efeitos favoráveis, conseguindo relacioná-las às mudanças funcionais na conectividade entre a área motora suplementar e o putâmen esquerdo (Papoutsi et al., 2017). A terapia com neurofeedback pode ser feita antes de forma preventiva ou associada ao tratamento de outras doenças neurodegenerativas (Linden et al., 2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A terapia com neurofeedback reflete em tempo real os padrões de ondas cerebrais do indivíduo, de maneira que é possível alterar as funções neurais durante as sessões e as mudanças podem persistir ao longo do tempo, pois o cérebro se adapta fisicamente e funcionalmente aos novos padrões. Essa autorregulação envolvendo o indivíduo tem se apresentado como um tratamento promissor, principalmente quando associado à terapia farmacológica, em condições como TDAH, ansiedade, estresse, depressão, autismo e epilepsia. Nesses distúrbios neurológicos, há uma disfunção neuronal, seja por atrofia, aumento ou diminuição das funções cerebrais. Em vista disso, com a neuroplasticidade induzida pelo neurofeedback, torna-se possível normalizar a função cerebral, podendo melhorar os sintomas ou retardar a progressão da doença. Além do uso do neurofeedback como terapia para os distúrbios neurológicos, novos estudos demonstram o neurofeedback como uma ferramenta de treinamento para indivíduos saudáveis, sendo capaz de mudar as conexões estruturais e funcionais, reforçando os padrões cerebrais relacionados à execução motora. Apesar da maioria dos protocolos com

neurofeedback necessitarem de diversas sessões para conseguir visualizar mudanças comportamentais, tem sido testado o neurofeedback de curto prazo, em que, na primeira sessão com adultos saudáveis, já são observadas melhorias. Diante disso, as pesquisas recentes têm demonstrado a rápida capacidade dos indivíduos na neurorregulação das funções cerebrais, confirmado o impacto do neurofeedback na neuroplasticidade. Dessa forma, o neurofeedback vem surgindo como uma boa alternativa para tratar doenças em que o funcionamento cerebral está alterado, sendo que seus efeitos podem durar a vida toda, diferente das terapias medicamentosas que tratam os sintomas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Centro Acadêmico Wilfried Baer (CAWB) e ao Centro Universitário Integrado pelo apoio e incentivo financeiro à realização deste trabalho, fundamentais para o desenvolvimento e conclusão deste estudo. Ademais, agradecemos ao grupo de pesquisa Bneurd pelo suporte técnico e científico oferecido ao longo do processo.

REFERÊNCIAS

- LORIETTE, C.; ZIANE, C.; HEMAD, S. B. Neurofeedback for cognitive enhancement and intervention and brain plasticity. **Revue neurologique**, v.177, n. 9, p.1133-1144, jul. 2021.
- MARCHI, A. et al. Neurofeedback and epilepsy: Renaissance of an old self-regulation method? **Revue Neurologique**, v. 180, n. 4, p. 314-325, 2024.
- OBLAK, E.; LEWIS-PEACOCK, J.; SULZER, J. Differential neural plasticity of individual fingers revealed by fMRI neurofeedback. **Journal of Neurophysiology**, v. 125, n. 1, p. 41-55, 2021.
- KOBER, S. E.; SCHWEIGER, D.; REICHERT, J. L.; NEUPER, C.; WOOD, G. Upper alpha based neurofeedback training in chronic stroke: brain plasticity processes and cognitive effects. **Applied Psychophysiology and Biofeedback**, v. 42, n. 1, p. 69-83, 14 fev. 2017.
- ETHAN, O.; JARROD, L.; JAMES, S. Differential neural plasticity of individual fingers revealed by fMRI neurofeedback. **Journal of neurophysiology**. v.125, n. 5, p. 1720-1734, mar. 2021.
- SCHEINOST, D. et al. Orbitofrontal cortex neurofeedback produces lasting changes in contamination anxiety and resting-state connectivity. **Translational Psychiatry**, New Haven, v. 3, e250, 2013.
- PAPOUTSI, M. et al. Stimulating neural plasticity with real-time fMRI neurofeedback in Huntington's disease: A proof of concept study. **Human Brain Mapping**, v. 39, p. 1339-1353, 2018.
- LINDEN, D. E. et al. Real-time self-regulation of emotion networks in patients with depression. **PLoS ONE**, v. 7, n. 6, 2012.

MARINS, T.; RODRIGUES, E. C.; BORTOLINI, T.; MELO, B.; MOLL, J.; TOVAR-MOLL, F. Structural and functional connectivity changes in response to short-term neurofeedback training with motor imagery. **NeuroImage**, v. 194, p. 283-290, mar. 2019.

BOTURA, G.; ESPINELLI, J.; MARQUES, M. SISTEMA CLASSIFICADOR DE RITMOS CEREBRAIS POR MEIO DE INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 25, 2016, Foz do Iguaçu. **Anais...** Sorocaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Biomédica (SBEB), p. 683-686, 2016.

VAN DOREN, J. et al. Theta/beta neurofeedback in children with ADHD: Feasibility of a short-term setting and plasticity effects. **International Journal of Psychophysiology**, v. 112, p. 80-88, fev. 2017.

SHIBATA, K. et al. Toward a comprehensive understanding of the neural mechanisms of decoded neurofeedback. **Neuroimage**, v. 188, p. 539-556, mar. 2019.