

Biofeedback no aperfeiçoamento da autorregulação emocional em crianças com TDAH

Biofeedback to improve emotional self-regulation in children with ADHD

Biorretroalimentación en la mejora de la autorregulación emocional en niños con TDAH

Antonio Augusto Sousa Júnior¹, Ektor Kayã Magalhães de Melo²,
 Gloria Maria Aguiar Brito Lima³, Heloísa Helena de Sá Paiva⁴,
 Letícia Destêrro e Silva Moreira Lima⁵, Paulo de Tarso Silva Barros⁶,
 Polliana Galvão⁷, Daniel Carvalho de Matos⁸,
 Gilberto Assunção Costa Júnior⁹, Fabrício Brito Silva¹⁰

1. Acadêmico de Medicina. Universidade CEUMA. São Luís-MA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-8625-7670>

2. Acadêmico de Medicina. Universidade CEUMA. São Luís-MA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-2464-9910>

3. Acadêmico de Medicina. Universidade CEUMA. São Luís-MA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-3365-699X>

4. Acadêmico de Medicina. Universidade CEUMA. São Luís-MA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-2834-8828>

5. Acadêmico de Medicina. Universidade CEUMA. São Luís-MA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9918-190X>

6. Farmacêutico, Doutor, Psicologia/Farmácia. São Luís-MA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-9442-0649>

7. Psicológa, Doutora em Psicologia Escolar e do Desenvolvimento, Instituto Evoluir e Universidade Federal do Maranhão, Universidade CEUMA. São Luís-MA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7579-8852>

8. Psicólogo, Doutor, Curso de Graduação em Psicologia, Universidade CEUMA. São Luís-MA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6793-0101>

9. Professor, Curso de Psicologia, Mestre em Gestão de Programas e Serviços de Saúde, Universidade CEUMA. São Luís-MA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8097-4339>

10. Professor, Doutor, Programa de Pós-Graduação Meio em Ambiente, Universidade CEUMA. São Luís-MA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9878-0206>

Resumo

Introdução. Este estudo bibliográfico investiga os mecanismos neurobiológicos e implicações do *biofeedback* na autorregulação emocional de crianças com TDAH, explorando sua intersecção para melhorar o funcionamento adaptativo e a saúde emocional. **Objetivo.** Analisar como o *biofeedback* pode ser integrado para melhorar a autorregulação emocional em crianças com TDAH. **Método.** Foi conduzida uma revisão narrativa, utilizando os bancos de dados PubMed e Scopus com os descritores "Biofeedback", "Attention deficit hyperactivity disorder (TDAH)", "Self-regulation", e "Emotion". Os artigos foram selecionados com base na relevância para os objetivos da pesquisa. **Resultados.** Após a seleção, 89 artigos foram considerados elegíveis, com desenhos de estudo variados, incluindo ensaios clínicos, estudos de coorte, caso-controle, transversais e pilotos, oferecendo uma análise abrangente da temática. **Conclusão.** A integração do *biofeedback* na terapia para autorregulação emocional em crianças com TDAH mostra-se promissora, fornecendo uma base empírica sólida para intervenção e equipando as crianças com habilidades práticas para gerir suas respostas emocionais e comportamentais de maneira mais eficaz, promovendo assim seu bem-estar geral e adaptabilidade social.

Unitermos. Biofeedback; Neurofeedback; TDAH; Autorregulação; Emoções

Abstract

Introduction. This bibliographic study investigates the neurobiological mechanisms and implications of biofeedback on emotional self-regulation in children with ADHD, exploring its intersection to enhance adaptive functioning and emotional health. **Objectiv.** The aim is to analyse how biofeedback can be integrated to improve emotional self-regulation in children with ADHD. **Method.** A narrative review was conducted, utilising the PubMed and Scopus databases with the keywords "Biofeedback", "Attention deficit hyperactivity disorder (ADHD)", "Self-regulation", and "Emotion". Articles were selected based on their relevance to the research objectives. Following selection, 89 articles were deemed eligible, encompassing various study designs including clinical trials, cohort studies, case-control studies, cross-sectional studies, and pilot studies, offering a comprehensive analysis of the topic.

Conclusions. The integration of biofeedback into therapy for emotional self-regulation in children with ADHD appears promising, offering a solid empirical foundation for intervention and equipping children with practical skills to manage their emotional and behavioural responses more effectively, thereby promoting their overall well-being and social adaptability.

Keywords. Biofeedback; Neurofeedback; ADHD; Self-regulation; Emotions

Resumen

Introducción. Este estudio bibliográfico investiga los mecanismos neurobiológicos e implicaciones del biofeedback en la autorregulación emocional de niños con TDAH, explorando su intersección para mejorar el funcionamiento adaptativo y la salud emocional. **Objetivo.** Analizar cómo el biofeedback puede integrarse para mejorar la autorregulación emocional en niños con TDAH. **Método.** Se realizó una revisión narrativa, utilizando las bases de datos PubMed y Scopus con los descriptores "Biofeedback", "Attention deficit hyperactivity disorder (TDAH)", "Self-regulation" y "Emotion". Los artículos fueron seleccionados en función de su relevancia para los objetivos de la investigación. **Resultados.** Tras la selección, 89 artículos fueron considerados elegibles, con diseños de estudio variados, incluyendo ensayos clínicos, estudios de cohorte, caso-control, transversales y pilotos, ofreciendo un análisis exhaustivo del tema. **Conclusión.** La integración del biofeedback en la terapia para la autorregulación emocional en niños con TDAH se muestra prometedora, proporcionando una base empírica sólida para la intervención y equipando a los niños con habilidades prácticas para gestionar sus respuestas emocionales y comportamentales de manera más eficaz, promoviendo así su bienestar general y adaptabilidad social.

Palabras clave. Biofeedback; Neurofeedback; TDAH; Autorregulación; Emociones

Trabalho realizado na Universidade CEUMA. São Luís-MA, Brasil.

Conflito de interesse: não

Recebido em: 24/09/2024

Aceito em: 18/12/2024

Endereço de correspondência: Fabrício Brito Silva. São Luís-MA, Brasil. Email: fabricio.brito@ceuma.br

INTRODUÇÃO

A adaptação humana, mediada pela interação entre os sistemas nervosos central e periférico, é fundamentalmente determinada pela percepção das consequências das ações realizadas. O *feedback* desempenha um papel essencial nos processos de aprendizado ao facilitar a integração de percepções sensoriais combinadas, como táteis, visuais e

auditivas, crucial para a adaptação e aprimoramento de habilidades em diversos contextos¹. No contexto do aprendizado de um instrumento musical, por exemplo, o feedback permite o ajuste fino das ações motoras e a interpretação dos sons produzidos, resultando em uma execução precisa das notas desejadas¹.

O *biofeedback*, uma técnica que busca aumentar a consciência e o controle sobre processos fisiológicos normalmente involuntários, tem se mostrado promissor em permitir que os indivíduos influenciem esses processos para melhorar a saúde, desempenho ou bem-estar emocional². Diferente do aprendizado convencional que se foca na sedimentação do conhecimento, o *biofeedback* visa a autorregulação de habilidades afetivas, biológicas e cognitivas¹.

Em termos de *biofeedback*, sistemas cerebrais como o sistema nervoso autônomo (SNA), o sistema límbico, o córtex pré-frontal e o eixo hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA) desempenham papéis fundamentais. O SNA, dividido em simpático e parassimpático, regula respostas de "luta ou fuga" e "descanso e digestão", respectivamente, e pode ser modulado pelo *biofeedback* para promover relaxamento e regulação emocional³. O sistema límbico, incluindo a amígdala e o hipocampo, é essencial para a regulação emocional e memória, com o *biofeedback* influenciando sua atividade para melhorar a autorregulação emocional⁴.

O córtex pré-frontal, crucial para o planejamento e tomada de decisão, pode ter suas funções de autocontrole e

autorregulação aprimoradas pelo *biofeedback*, enquanto o eixo HPA, importante na resposta ao estresse, pode ter a liberação de cortisol modulada, reduzindo os efeitos negativos do estresse crônico⁵. Além disso, diversas redes neurais, como a rede de saliência, a rede de controle executivo e a rede de modo padrão, são envolvidas no processo de *biofeedback*, facilitando a percepção e controle das respostas fisiológicas⁶.

Neuroquimicamente, substâncias como dopamina, serotonina, GABA, norepinefrina e acetilcolina estão envolvidas no *biofeedback*, influenciando aspectos como a concentração, regulação do humor, redução da ansiedade e melhoria da função cognitiva⁷. Estas interações complexas entre sistemas neurais e neuroquímicos fornecem uma base robusta para o uso do *biofeedback* como ferramenta terapêutica, especialmente para condições como o Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), onde a regulação emocional desempenha um papel crucial no bem-estar e na adaptação social das crianças afetadas.

Considerando os aspectos acima levantados, este estudo bibliográfico está focado nas seguintes questões norteadoras: 1) Quais são os mecanismos neurobiológicos subjacentes aos efeitos do *biofeedback* na autorregulação emocional em crianças com TDAH? 2) Quais as implicações do *biofeedback* para autorregulação emocional em crianças com TDAH?

Diante disso, o presente estudo busca explorar a intersecção entre o *biofeedback* e a autorregulação

emocional, investigando como essas duas abordagens podem ser integradas para melhorar a saúde emocional e o funcionamento adaptativo de crianças com TDAH.

MÉTODO

A metodologia mais simplificada para uma revisão narrativa envolve cinco elementos fundamentais: enquadrar a questão de pesquisa com clareza, demarcar os limites e o escopo do tópico, explicar os termos de pesquisa e os bancos de dados usados, especificar os fatores que influenciam as interpretações e descrever a abordagem de análise⁸. A busca foi realizada nos bancos de dados PubMed e Scopus com a combinação dos seguintes descritores e operador booleano: (Biofeedback) AND (Attention deficit hyperactivity disorder) AND (Self-regulation) AND (Emotion). A seleção dos artigos considerou como inclusão, os artigos científicos publicados em revistas indexadas, com acesso aberto e aderentes ao tema abordado, tendo ainda a seleção considerado a análise dos títulos e resumos. Em seguida, os artigos selecionados foram lidos na íntegra, destacando-se as informações mais relevantes para o presente estudo.

RESULTADOS

Inicialmente, um total de 741 artigos foram identificados como potenciais, sendo que destes, 417 são provenientes de revistas indexadas, 205 foram de acesso aberto, abrangendo as áreas de medicina, psicologia, computação, engenharia, entre outras. Destes, 246

pertenceram as áreas de psicologia e neurociências e após o filtro de aderência ao tema, 89 artigos foram utilizados para compor a base de escopo da revisão narrativa. Os estudos selecionados apresentaram uma variedade de desenhos de pesquisa, incluindo ensaios clínicos, estudos de coorte, estudos caso-controle, estudos transversais e pilotos, fornecendo uma abordagem abrangente para a investigação da temática proposta.

DISCUSSÃO

Biofeedback

A adaptação humana, coordenada pela interação dos sistemas nervoso central e periférico, é determinada pela percepção das consequências, positivas ou negativas, de determinada ação. O *feedback* desempenha um papel fundamental nos processos de aprendizado ao facilitar a integração de percepções sensoriais combinadas, como táteis, visuais e auditivas. Essa integração é essencial para a adaptação e aprimoramento de habilidades em diversos contextos. Por exemplo, no aprendizado de um instrumento musical como o piano, o mecanismo de *feedback* é responsável pelo ajuste da pressão dos dedos, a orientação visual das teclas e a interpretação dos sons produzidos, contribuindo assim para a execução precisa das notas desejadas¹.

Esse *feedback* é fundamental para o desenvolvimento humano, pois traz mecanismos de autorregulação das habilidades afetivas, biológicas e/ou cognitivas². Enquanto o

aprendizado foca na sedimentação do conhecimento, o *biofeedback* busca aumentar a consciência e o controle sobre processos fisiológicos normalmente involuntários, permitindo que o indivíduo aprenda a influenciar esses processos para melhorar sua saúde, desempenho ou bem-estar emocional¹.

Em relação ao *biofeedback* e aos sistemas cerebrais envolvidos, destacam-se como sistemas fundamentais: o sistema nervoso autônomo (SNA), o sistema límbico, o córtex pré-frontal e o eixo hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA). O SNA é dividido em simpático e parassimpático. A divisão simpática, responsável pelas respostas de "*luta ou fuga*", pode ter sua atividade excessiva reduzida pelo *biofeedback*, promovendo relaxamento e redução do estresse. Por outro lado, a divisão parassimpática, associada ao "*descanso e digestão*", pode ter sua atividade aumentada pelo *biofeedback*, ajudando na regulação emocional e promoção do bem-estar³.

A rede límbica, estruturas cerebrais profundas, como a amígdala e o hipocampo, é fundamental para a regulação emocional e memória. A amígdala desempenha um papel central no processamento das emoções, especialmente no que diz respeito às respostas de medo e fuga. Conectada a outras áreas do cérebro, como o hipocampo, é capaz de modular a atividade dessa região com base na excitação emocional. O *biofeedback* pode influenciar a atividade límbica, ajudando a gerenciar respostas emocionais,

facilitando a autorregulação emocional e fisiológica promovida pelo *biofeedback*⁴.

O córtex pré-frontal, responsável pelo planejamento, tomada de decisão e regulação do comportamento, pode ter suas funções aperfeiçoadas pelo *biofeedback*, especialmente o autocontrole e a capacidade de autorregulação. O córtex cingulado anterior, envolvido na regulação das emoções e no processamento do erro, pode ter sua atividade aumentada, aprimorando a capacidade de resposta emocional e a correção de comportamentos inadequados⁵.

Além disso, o eixo hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA) desempenha um papel crucial na regulação da resposta ao estresse e na liberação de hormônios como o cortisol. Esta modulação do cortisol é fundamental, pois níveis elevados e persistentes desse hormônio estão associados aos efeitos negativos do estresse crônico, incluindo disfunções imunológicas, alterações metabólicas e comprometimento da função cognitiva⁹.

Estes sistemas e estruturas cerebrais trabalham em conjunto para mediar os efeitos do *biofeedback*, proporcionando uma ferramenta para a autorregulação emocional e a melhoria do funcionamento adaptativo, especialmente em condições como o TDAH. O entendimento desses sistemas é crucial para otimizar as intervenções de *biofeedback* e maximizar seus benefícios terapêuticos³.

As redes neurais, por sua vez, são conjuntos interconectados de neurônios que processam informações de forma distribuída. No contexto do *biofeedback*, várias redes

cerebrais estão envolvidas. A rede de saliência, que inclui a ínsula e o cíngulo anterior, é crucial para detectar e filtrar estímulos relevantes, além de coordenar as respostas fisiológicas associadas. A rede de controle executivo, envolvendo o córtex pré-frontal dorsolateral e a ínsula, é responsável pelo planejamento, tomada de decisão e autorregulação, com o *biofeedback* fortalecendo a função executiva e melhorando o controle de impulsos e gestão de emoções¹⁰.

A rede de modo padrão (*Default Mode Network*), que inclui o córtex pré-frontal medial e o córtex cingulado posterior, está associada ao auto-referenciamento e à introspecção. O *biofeedback* pode modular a atividade dessa rede, promovendo uma autorregulação emocional mais eficiente. A rede somatomotora, envolvendo o córtex motor e sensorial, é essencial para a percepção e controle das respostas fisiológicas, com o *biofeedback* melhorando a consciência e controle sobre respostas como a frequência cardíaca e a tensão muscular⁶.

Diversas substâncias neuroquímicas estão relacionadas a esse processo. A dopamina, por exemplo, é um neurotransmissor essencial para o sistema de recompensa e motivação. O *biofeedback* pode influenciar a liberação de dopamina, promovendo estados de concentração e satisfação ao alcançar objetivos de regulação fisiológica. A serotonina, outro neurotransmissor importante, está envolvida na regulação do humor, sono e comportamento emocional⁷.

O ácido gama-aminobutírico (GABA) é o principal neurotransmissor inibitório do sistema nervoso central, e sua atividade é crucial para a regulação da excitação neuronal e a redução da ansiedade. O *biofeedback* pode aumentar a atividade do GABA, ajudando a diminuir a excitabilidade neural excessiva associada a condições de estresse e ansiedade¹¹.

A norepinefrina, envolvida na resposta ao estresse e na regulação da atenção, também pode ser modulada através do *biofeedback*. Técnicas que reduzem o estresse e promovem a autorregulação podem ajudar a equilibrar os níveis de norepinefrina, melhorando a capacidade de atenção e resposta adaptativa ao estresse. A acetilcolina, que desempenha um papel crucial na função cognitiva e no controle do sistema nervoso parassimpático, pode ser influenciada pelo *biofeedback*, especialmente em técnicas que visam a modulação da resposta de relaxamento e a melhora da função cognitiva¹².

O TDAH é caracterizado por desatenção, impulsividade e hiperatividade que podem impactar significativamente o funcionamento diário da criança¹³. Estimulantes, como os sais de metilfenidato e anfetamina, são os principais medicamentos para os sintomas centrais do TDAH, resultando em rápida redução dos sintomas. Não estimulantes, como atomoxetina e agonistas alfa-2 adrenérgicos (clonidina, guanfacina), são alternativas, cujos efeitos completos se manifestam após algumas semanas de tratamento¹⁴.

Aliadas ao tratamento farmacológico, as intervenções comportamentais, como treinamento dos pais e programas escolares, mostram eficácia na modificação do comportamento. Outras abordagens, como dietas e suplementos, carecem de evidências científicas comparáveis aos medicamentos aprovados e às intervenções comportamentais mencionadas¹⁵.

Entretanto, as evidências atualmente disponíveis não apoiam firmemente a recomendação individual e rotineira de intervenções não farmacológicas como tratamentos altamente eficazes para os principais sintomas do TDAH. Contudo, algumas delas, como intervenções comportamentais ou treinamento cognitivo, podem ser eficazes para deficiências associadas importantes, como comportamentos opositivos e déficits de memória de trabalho, respectivamente¹⁶.

Nesse ponto, entra o *biofeedback* como parte importante da terapêutica, observado em crianças com TDAH, que receberam a intervenção combinada do neuro e eletromiográfico feedback, e experimentaram melhora dos sintomas e bem-estar geral¹⁷.

O *neurofeedback* tem se mostrado promissor como tratamento não farmacológico para TDAH em crianças. Estudos têm demonstrado que o treinamento de NF pode levar a reduções significativas de longo prazo nos sintomas de TDAH, melhorias no ambiente escolar, social e familiar¹⁸. Além disso, o NF tem se mostrado superior a tratamentos de controle na melhoria da sintomatologia central do TDAH e

em domínios associados, tanto nos níveis comportamentais quanto neurofisiológicos¹⁹.

Embora alguns estudos tenham mostrado efeitos positivos do NF, um estudo específico comparou duas técnicas dessa intervenção em crianças de sete a nove anos: potencial cortical lento (SCP-NF) e eletromiograma (EMG). Ambos os grupos apresentaram melhora nos sintomas de TDAH após 6 meses de acompanhamento e não foram identificadas diferenças significativas entre os grupos. Apesar disso, o grupo SCP-NF apresentou melhora estável após o tratamento, enquanto o grupo EMG-BF teve uma recaída seguida de remissão. No acompanhamento de 6 meses, o grupo SCP-NF manteve uma melhoria grande e estável²⁰.

O TDAH também está associado a prejuízos na memória de trabalho. Crianças com TDAH apresentam déficits em tarefas de memória de trabalho fonológica, com resposta hemodinâmica reduzida no córtex pré-frontal dorsolateral (PFC) durante essas tarefas, prejudicando a performance acadêmica²¹.

Também para esse dano o *biofeedback* tem se mostrado relevante. Crianças de 6 a 12 anos receberam de 10 a 12 sessões de *neurofeedback* com pico de frequência alfa. Quando comparadas as métricas de seus testes respondidos antes da intervenção, houve melhoria significativa no percentual de acerto, passando de 43% para 71%²².

O TDAH tem uma relação complexa com os transtornos de ansiedade. Dois modelos de *biofeedback* foram comparados no tratamento do transtorno de ansiedade: *biofeedback* baseado na realidade virtual (RV) e *biofeedback* 2D. Em indivíduos submetidos à RV houve redução significativa dos sintomas de ansiedade autorrelatados, bem como na frequência cardíaca. Esses resultados promissores colocam essa abordagem terapêutica como opção viável para o tratamento dos transtornos mentais, pois fornece feedback imediato e personalizado, permitindo que os pacientes ajustem suas estratégias de regulação emocional de acordo com suas necessidades individuais²³.

Autorregulação emocional e TDAH em crianças

As emoções nos seres humanos são respostas automáticas a estímulos ambientais, envolvendo interações complexas entre diferentes sistemas cerebrais. O processamento emocional começa com a percepção e interpretação dos estímulos pelo córtex cerebral, seguido da ativação do sistema límbico, especialmente da amígdala, que desempenha um papel central no processamento emocional¹¹.

Essa ativação resulta em respostas fisiológicas associadas às emoções, como alterações na frequência cardíaca e respiratória, mediadas por outras regiões cerebrais, como o hipotálamo e o tronco encefálico¹¹.

Crianças com TDAH apresentam prejuízos no reconhecimento emocional, afetando seu funcionamento

interpessoal, possivelmente devido a prejuízos generalizados na categorização de expressões emocionais²⁴. A conectividade funcional, isto é, a correlação estatística entre atividades de regiões cerebrais diferentes durante tarefas ou em repouso, nos lobos frontal e occipital é maior, indicando problemas no processamento emocional e visual¹⁰.

O lobo occipital, responsável pelo processamento visual, exibe aumento da conectividade funcional em crianças com TDAH, possivelmente devido à falta de atenção aos estímulos visuais. O lobo frontal, responsável pelo processamento emocional, mostra sincronização de fase significativamente maior em crianças com TDAH, apontando para defeitos de desempenho cerebral nesta região¹⁰.

Frequentemente esses indivíduos apresentam disfunção na regulação emocional (RE), o que está relacionado a prejuízos no funcionamento social e comportamentos de risco²⁵. Sobre isso, um estudo narra,

“Por exemplo, o grau de raiva experimentado por um motorista com TDAH diante de um incidente de trânsito pode ser o mesmo que o de um motorista sem TDAH. No entanto, enquanto o motorista sem TDAH pode acalmar-se com mecanismos de autorregulação, o motorista com TDAH não pode. [...] a criança com TDAH que não consegue parar de rir na sala de aula. Os seus colegas com idade típica podem experimentar a mesma emoção, mas as suas capacidades de autorregulação levam a um sorriso discreto em vez de uma risada explosiva”²⁶

Além disso, essas crianças podem experimentar mudanças mais frequentes e intensas em direção a emoções negativas, especialmente quando presentes transtornos internalizantes ou de oposição desafiadora, levando a uma labilidade emocional negativa²⁷.

A disfunção emocional experienciada por essas crianças é resultado, em primeiro lugar, dos próprios sintomas do TDAH. Quando também há déficit na memória de trabalho, bem como nas demais funções executivas, esse processo de desregulação emocional é acentuado, indicando uma relação complexa e multifacetada dessas duas dimensões²⁸.

Os indivíduos possuem a capacidade de regular suas emoções, o que lhes permite controlar pensamentos que possam influenciar determinados comportamentos, por exemplo. Diante de um impulso o indivíduo é capaz de inibir o comportamento esperado. A falha desse sistema pode ter consequências significativas para o bem-estar psicológico e o funcionamento adaptativo dos indivíduos, incluindo transtornos de ansiedade, depressão, transtornos alimentares e abuso de substâncias²⁹.

A regulação emocional envolve um conjunto de habilidades que englobam a consciência, avaliação, manutenção e modulação dos estados emocionais, visando alcançar metas específicas. Esse processo pode ocorrer de forma consciente ou inconsciente, sendo executado de forma autogerenciada ou com o apoio externo. É aplicado tanto em emoções positivas quanto negativas, permitindo aos indivíduos ajustarem suas respostas emocionais de acordo com as demandas do ambiente e suas metas pessoais³⁰.

A autorregulação emocional é resultado da atuação do córtex pré-frontal (CPF), porção anterior do lobo frontal. Regiões específicas do CPF foram identificadas como importantes para as emoções, como o CPF ventromedial

(VMPFC), particularmente envolvido na avaliação e processamento de recompensas e punições emocionais, influenciando as decisões relacionadas ao comportamento de busca de gratificação e na inibição de respostas impulsivas; e o CPF lateral, associado ao planejamento, coordenação e direcionamento da atenção²⁹.

O sistema límbico, uma rede de estruturas cerebrais profundas, é ativado em resposta aos estímulos emocionais. A amígdala, processa essas emoções, especialmente no que diz respeito ao medo e fuga. É conectada a outras áreas do cérebro, modulando a atividade de acordo com a excitação emocional⁴.

O desenvolvimento da regulação emocional é um processo complexo, pelo qual o ser humano adquire habilidades para reconhecer, compreender e gerenciar suas emoções ao longo da vida, desde a infância, passando pela adolescência até a idade adulta. Esse processo é influenciado por fatores biológicos, psicológicos, sociais e ambientais, e ocorre por meio de interações com cuidadores e experiências emocionais³¹.

A primeira infância é marcante para a regulação emocional das crianças, pois significa a transição de uma fase de dependência em todas as áreas de seus pais para um momento de controle voluntário de seus pensamentos, ações e emoções. Esse controle voluntário é acompanhado pelo desenvolvimento cognitivo e de linguagem da criança, no qual estão aprendendo a reconhecer, entender e regular suas emoções de maneira cada vez mais sofisticada³⁰.

Nesses estágios iniciais da vida, a relação com os pais e/ou cuidadores desempenham um papel crucial no desenvolvimento das habilidades de autorregulação emocional, fornecendo modelos de comportamento, apoio emocional e oportunidades para aprender estratégias de enfrentamento eficazes.

Os pais estão implicados na função de suporte para seus filhos enquanto estes exploram o meio físico e social. A criança passa a ter na figura de seus pais um igual, que compartilha das emoções e da disposição para enfrentar situações adversas. Essa base, construída através do apoio, do encorajamento, da escuta ativa e da validação das emoções, é um pilar fundamental no desenvolvimento saudável das crianças³⁰.

Ao fornecer um ambiente seguro e acolhedor, os pais passam a ser vistos como um local de segurança, especialmente em momentos de estresse ou ameaça. Quando a interação com o ambiente é conturbada, seja por fatores físicos ou emocionais, elas buscam refúgio junto aos seus cuidadores, que servem como um porto seguro onde podem encontrar proteção e consolo. Essa dinâmica permite que as crianças aprendam a lidar com suas emoções de uma forma que as ajudem a desenvolver habilidades adaptativas³⁰.

Na adolescência, a reavaliação cognitiva, que envolve a mudança na interpretação de estímulos emocionais, é uma estratégia utilizada para regular as emoções. Já na vida adulta, as pessoas tendem a empregar uma variedade de

técnicas, incluindo reavaliação cognitiva, supressão expressiva e distração, para gerenciar suas emoções de maneira eficaz³¹.

Apesar do declínio cognitivo associado à idade, os idosos geralmente demonstram maior estabilidade emocional e afeto positivo, indicando a possibilidade de que utilizem estratégias bem-sucedidas de regulação emocional para manter o bem-estar emocional. Dessa forma, a compreensão das diferentes estratégias de regulação emocional ao longo da vida pode fornecer insights valiosos sobre o funcionamento emocional e as práticas de intervenção em diversas faixas etárias³¹.

Dito isso, o desenvolvimento emocional saudável é essencial ao longo da vida, permitindo que os indivíduos se adaptem em diversas situações sociais e lidem com o estresse de maneira eficaz. A compreensão das bases neurais da regulação emocional ao longo das diferentes fases da vida pode fornecer insights valiosos sobre o bem-estar emocional e a saúde mental. Além disso, as emoções desempenham um papel significativo na cultura e na expressão artística, destacando sua relevância na formação do comportamento humano e na sociedade³¹.

Uma visão integrada para o futuro: *biofeedback* e autorregulação emocional

Nos últimos anos, tem havido um crescente interesse na integração de abordagens terapêuticas voltadas para a melhoria da autorregulação emocional, especialmente em populações com desafios emocionais, como o TDAH. Nesse

contexto, o *biofeedback* tem emergido como uma técnica promissora. Participantes que foram submetidos ao treinamento de *neurofeedback* em tempo real monitorado por ressonância magnética funcional, um aumento da conectividade funcional em estado de repouso da amígdala basolateral (BLA) e da amígdala centromedial (CMA) com o córtex pré-frontal e o córtex cingulado anterior rostral foi observado, regiões cerebrais relacionadas com as emoções, facilitando um melhor controle cognitivo e capacidades de regulação das emoções³².

O *biofeedback* pode reduzir estresse, ansiedade, induzir relaxamento e aumentar emoções positivas, melhorando, por fim, a atenção, aprendizado e desempenho acadêmico^{33,34}.

O tratamento do TDAH demanda estratégias terapêuticas que sejam eficazes e sustentáveis a longo prazo. Em uma meta-análise, estudos que aplicaram esse treinamento foram analisados e um dos aspectos levantados é que o efeito clínico é consistente e pode até ser aperfeiçoado com o tempo, ao contrário da medicação estimulante, cuja interrupção frequentemente leva ao retorno dos sintomas originais³⁵. Resultados semelhantes, com relação ao tempo de permanência dos efeitos de tratamento, foram observados, sendo o tempo de 11 meses após o fim da intervenção³⁶; outro trabalho, por sua vez, observaram o tempo de 6 meses após a intervenção, evidenciando a consistência dessa abordagem terapêutica¹⁸.

Por fazer parte de uma abordagem multidisciplinar do tratamento, o *biofeedback* não é imune a interferências de outros fatores. Apesar disso, um trabalho que investigou a influência da idade e do uso de metilfenidato simultaneamente ao treinamento com *biofeedback*, chegou à conclusão de que ambos os fatores têm um impacto significativo no desempenho do *neurofeedback* em crianças com TDAH em diferentes modelos de aprendizado. A idade foi um fator associativo negativo em tarefas, enquanto o metilfenidato mostrou uma amplitude média mais positiva³⁷.

Outro modo de aplicar essa técnica estudado, o *biofeedback* em microjogos, ajusta dinamicamente a dificuldade do jogo com base na variação da frequência cardíaca do jogador, ajudando-o a navegar por diferentes estados emocionais. Essas intervenções fornecem feedback em tempo real, orientando as crianças a regularem suas emoções de forma eficaz. É por isso que a integração de mecanismos de *biofeedback* em intervenções desse tipo promove habilidades de regulação emocional cruciais para crianças com TDAH³⁸.

CONCLUSÕES

Integrar o *biofeedback* na promoção da autorregulação emocional em crianças diagnosticadas com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade representa uma abordagem atraente que alinha intervenções baseadas em evidências com as necessidades específicas deste grupo. O *biofeedback*, permite aos indivíduos controlarem certas

funções fisiológicas monitorando sinais corporais, pode ser particularmente benéfico para crianças, que frequentemente enfrentam desafios significativos na modulação de suas emoções e comportamentos.

A aplicação do *biofeedback* em crianças com TDAH concentra-se, principalmente, em ensiná-las a reconhecer e modificar suas respostas fisiológicas associadas a estados emocionais, como a frequência cardíaca, a respiração e a tensão muscular. Esta conscientização fisiológica serve como um ponto de partida para intervenções mais complexas que visam a autorregulação emocional. Ao obter um feedback visual ou auditivo sobre suas próprias funções corporais, as crianças podem aprender a exercer controle voluntário sobre essas funções, o que, por sua vez, pode levar a uma melhora na gestão de emoções e impulsos.

Do ponto de vista prático, o treinamento com *biofeedback* para crianças inclui sessões regulares nas quais elas são treinadas a alterar sua respiração, ritmo cardíaco ou atividade muscular em resposta a estímulos emocionais simulados ou reais. Esse treinamento pode ser complementado por técnicas cognitivo-comportamentais que ensinam estratégias de enfrentamento e reestruturação cognitiva, proporcionando um arcabouço robusto para a melhoria da autorregulação emocional.

Em suma, a integração do *biofeedback* na terapia para autorregulação emocional em crianças com TDAH não apenas fornece uma base empírica sólida para intervenção, mas também equipa as crianças com habilidades práticas

para gerir suas respostas emocionais e comportamentais de maneira mais eficaz, promovendo assim seu bem-estar geral e adaptabilidade social.

REFERÊNCIAS

1. Williamon A. Physiological self-regulation: biofeedback and neurofeedback. In: Williamon A (editor). *Musical Excellence: Strategies and Techniques to Enhance Performance*. Oxford: Oxford Academic; 2004. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198525356.003.0011>
2. Gaume A, Vialatte A, Mora-Sánchez A, Ramdani C, Vialatte F. A psychoengineering paradigm for the neurocognitive mechanisms of biofeedback and neurofeedback. *Neurosci Biobehav Rev* 2016;68:891-910. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.012>
3. Nagai Y. Autonomic biofeedback therapy in epilepsy. *Epilepsy Res* 2019;153:76-8. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2019.02.005>
4. Bradley MM, Sambucó N. Emotional memory and amygdala activation. *Front Behav Neurosci* 2022;16:896285. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2022.896285>
5. Simons JS, Garrison JR, Johnson MK. Brain mechanisms of reality monitoring. *Trends Cogn Sci* 2017;21:462-73. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.03.012>
6. Konrad K, Eickhoff SB. Is the ADHD brain wired differently? A review on structural and functional connectivity in attention deficit hyperactivity disorder. *Hum Brain Mapp* 2010;31:904-16. <https://doi.org/10.1002/hbm.21058>
7. Ali Y, Mahmud NA, Rashidi S. Current advances in neurofeedback techniques for the treatment of ADHD. *Biomed Pharmacol J* 2015;8:165-77. <https://doi.org/10.13005/bpj/573>
8. Dankoff J, Shkirando E. Narrative Review Process: Getting Useful Feedback on Your Story. In: Schoenau-Fog H, Bruni L, Louchart S, Baceviciute S (editors). *Interactive Storytelling*. ICIDS 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol. 9445. Cham: Springer; 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27036-4_17
9. Leistner C, Menke A. *Handbook of Clinical Neurology*. Elsevier; 2020. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis and stress; p. 55-64. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64123-6.00004-7>
10. Nasab SA, Roohi-Azizi M, Ghadiri MK. Functional neuronal networks reveal emotional processing differences in children with ADHD. *Cogn Neurodyn* 2021;16:91-100. <https://doi.org/10.1007/s11571-021-09699-6>
11. Kandel ER. Princípios de neurociências. São Paulo: McGraw Hill; 2014.
12. Gitler A, Bortz A, Davison D, Hanson S, Combe L. Neuromodulation applied to diseases: the case of HRV biofeedback. *J Clin Med* 2022;11:5927. <https://doi.org/10.3390/jcm11195927>

- 13.Wolraich ML, Hagan JF, Allan C, Chan E, Davison D, Earls M, et al. Clinical Practice Guideline for the Diagnosis, Evaluation, and Treatment of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder in Children and Adolescents. *Pediatrics* 2019;144:e20192528. <https://doi.org/10.1542/peds.2019-2528>
- 14.Drechsler R, Brem S, Brandeis D, Grünblatt E, Drechsler T. ADHD: Current Concepts and Treatments in Children and Adolescents. *Neuropediatrics* 2020;51:315-35. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1701658>
- 15.Wolraich ML, Hagan JF, Allan C, Chan E, Davison D, Earls M, et al. ADHD Diagnosis and Treatment Guidelines: A Historical Perspective. *Pediatrics* 2019;144:e20191682. <https://doi.org/10.1542/peds.2019-1682>
- 16.Cortese S, Coghill D. Twenty years of research on attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): looking back, looking forward. *Evid Based Ment Health* 2018;21:173-6. <https://doi.org/10.1136/ebmental-2018-300050>
- 17.Pop-Jordanova N. Biofeedback application for somatoform disorders and attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) in children. *Int J Med Med Sci* 2009;1:17-22. <https://www.academicjournals.org/ijmms>
- 18.Lam SL, Fung HH, Tse J, Zhou J, Zainal H, Cheung CW, et al. Double-Blind, sham-controlled randomized trial testing the efficacy of fmri neurofeedback on clinical and cognitive measures in children with ADHD. *Am J Psychiatry* 2022;179:947-58. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.21100999>
- 19.Moreno-García I, Cano-Crespo A, Rivera F. Results of neurofeedback in treatment of children with ADHD: a systematic review of randomized controlled trials. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2022;47:145-81. <https://doi.org/10.1007/s10484-022-09547-1>
- 20.Aggensteiner PM, Brandeis D, Millenet S, Hohmann S, Christiansen H, Banaschewski T, et al. Slow cortical potentials neurofeedback in children with ADHD: comorbidity, self-regulation and clinical outcomes 6 months after treatment in a multicenter randomized controlled trial. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 2019;28:1087-95. <https://doi.org/10.1007/s00787-018-01271-8>
- 21.Friedman LM, Mirsky DL, Zemon V, Lenczewski ME, Di Antonio E, Johnston KL, et al. Working and short-term memory in children with ADHD: an examination of prefrontal cortical functioning using functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS). *Child Neuropsychol* 2023;30:462-85. <https://doi.org/10.1080/09297049.2023.2213463>
- 22.Dobrakowski P, Łebecka G. Individualized Neurofeedback Training May Help Achieve Long-Term Improvement of Working Memory in Children With ADHD. *Clin EEG Neurosci* 2019;51:94-101. <https://doi.org/10.1177/1550059419879020>
- 23.Kothgassner OD, Felnhofer A, Hlavacs H, Beutl L, Kothgassner L, Kryspin-Exner I, et al. Virtual reality biofeedback interventions for treating anxiety. *Wien Klin Wochenschr* 2022;134:49-59. <https://doi.org/10.1007/s00508-021-01991-z>

- 24.Jusyte A, Gulewitsch MD, Schönenberg M. Recognition of peer emotions in children with ADHD: evidence from an animated facial expressions task. *Psychiatry Res* 2017;258:351-7. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.08.066>
- 25.Bunford N, Evans SW, Wymbs F. ADHD and emotion dysregulation among children and adolescents. *Clin Child Fam Psychol Rev* 2015;18:185-217. <https://doi.org/10.1007/s10567-015-0187-5>
- 26.Faraone SV, Rostain AL, Blader J, Busch B, Childress AC, Connor DF, et al. Practitioner Review: emotional dysregulation in attention-deficit/hyperactivity disorder - implications for clinical recognition and intervention. *J Child Psychol Psychiatry* 2018;60:133-50. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12899>
- 27.Leaberry KD, Wang CH, Liew J, Bauer BW, Olivera-Figueroa LA, Jensen DP, et al. Comorbid internalizing and externalizing disorders predict lability of negative emotions among children with ADHD. *J Atten Disord* 2017;24:1989-2001. <https://doi.org/10.1177/1087054717734647>
- 28.Groves NB, Luebbe AM, Huntbach AS. An examination of relations among working memory, ADHD symptoms, and emotion regulation. *J Abnorm Child Psychol* 2020;48:525-37. <https://doi.org/10.1007/s10802-019-00612-8>
- 29.Kelley WM, Wagner DD, Heatherton TF. In Search of a Human Self-Regulation System. *Annu Rev Neurosci* 2015;38:389-411. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-071013-014243>
- 30.Paley B, Hajal NJ. Conceptualizing Emotion Regulation and Coregulation as Family-Level Phenomena. *Clin Child Fam Psychol Rev* 2022;25:19-43. <https://doi.org/10.1007/s10567-022-00378-4>
- 31.Helion C, Krueger SM, Ochsner KN. Emotion regulation across the life span. In: Helion C, Krueger SM, Ochsner KN. The Frontal Lobes. London: Elsevier; 2019. p.257-80. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804281-6.00014-8>
- 32.Li Z, Yan C, Bao C, Lv Y, Yang T, He C, et al. Altered Resting-State Amygdala Functional Connectivity after Real-Time fMRI Emotion Self-Regulation Training. *Biomed Res Int* 2016;2016:1-8. <https://doi.org/10.1155/2016/2719895>
- 33.Heinrich H, Moll GH, Kratz O. Effects of neurofeedback on the dysregulation profile in children with ADHD: SCP NF meets SDQ-DP – a retrospective analysis. *Psychol Med* 2019;50:258-63. <https://doi.org/10.1017/s0033291718004130>
- 34.Hasslinger J, Gevensleben H, Klein AM, Rothenberger A, Moll GH, Hautzinger M, et al. Neurofeedback in ADHD: a qualitative study of strategy use in slow cortical potential training. *PLoS One* 2020;15:e0233343. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233343>
- 35.Arns M, De Ridder S, Strehl U, Breteler M, Coenen A. Efficacy of neurofeedback treatment in ADHD: the effects on inattention, impulsivity and hyperactivity: a meta-analysis. *Clin EEG Neurosci* 2009;40:180-9. <https://doi.org/10.1177/155005940904000311>
- 36.Alegria AA, Wulff M, Brinson H, Barker GJ, Norman LJ, Brandeis D, et al. Real-time fMRI neurofeedback in adolescents with attention

deficit hyperactivity disorder. *Hum Brain Mapp* 2017;38:3190-209.
<https://doi.org/10.1002/hbm.23584>

37.Zuberer A, Minder F, Brandeis D, Drechsler R. Mixed-Effects Modeling of Neurofeedback Self-Regulation Performance: Moderators for Learning in Children with ADHD. *Neural Plast* 2018;2018:1-15.
<https://doi.org/10.1155/2018/2464310>

38.Aritzeta A, Soroa G, Balluerka N, Muniz J, Gorostiaga A, Aliri J. Emotional self-regulation in primary education: a heart rate-variability biofeedback intervention programme. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19:5475. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095475>