

Exercício físico e ansiedade matemática: perspectivas para educação matemática a partir das neurociências

Physical exercise and mathematical anxiety: a neuroscience-based
perspective for math education.

Mauro Roberto de Souza Domingues¹
Marcos Guilherme Moura Silva²
Felipe Barradas Cordeiro³
Mizael Carvalho de Souza⁴
Renan Wallace Guimarães da Rocha⁵
Natáli Valim Oliver Bento-Torres⁶
João Bento-Torres⁷

Resumo

Neste artigo analisamos os efeitos do exercício físico no cérebro, no desempenho cognitivo/escolar e saúde mental a partir da perspectiva das Neurociências, relacionando com o estado emocional da Ansiedade Matemática (AM). O estado da arte aponta que o exercício físico traz benefícios estruturais e funcionais ao sistema nervoso, melhora a aptidão cardiorrespiratória, o desempenho cognitivo e promove modulação da ansiedade. Essas evidências dão suporte para a formulação de um modelo que postula os benefícios da prática do exercício físico no controle da ansiedade matemática nas populações jovens em idade escolar. Nossas discussões caminham na perspectiva de fomentar a implementação, a curto e médio prazos, de estratégias metodológicas viáveis ao sistema educacional para a melhoria da saúde física, cognitiva e do desempenho matemático dos estudantes.

Palavras-chave: Neurociências; Exercício Físico; Cognição; Ansiedade Matemática.

Abstract

In this paper we analyze the effects of physical exercise on the brain, on cognitive/school performance and on mental health from a Neuroscience perspective, in association with Mathematical Anxiety (MA). Physical exercise promotes structural and functional benefits to the nervous system, improves cognitive performance and anxiety. The evidence provide support to the effects of physical exercise on decreased mathematical anxiety in school-age

¹Universidade Federal do Pará | mauro.domingues@hotmail.com

²Universidade Federal do Pará | marcosgmouras@yahoo.com.br

³Universidade Federal do Pará | fbarradascordeiro@gmail.com

⁴Universidade Federal do Pará | mizael.souza@iemci.ufpa.br

⁵Universidade Federal do Pará | prof.renawallace@gmail.com

⁶Universidade Federal do Pará | natalivalim@ufpa.br

⁷Universidade Federal do Pará | bentotorres@gmail.com

children. We address discussion to improve viable educational strategies for the improvement of students physical, cognitive and mathematical performance.

Keywords: Neurosciences; Physical exercise; Cognition; Mathematical anxiety; Mathematics Education

Introdução

Pessoas que possuem altos níveis de Ansiedade Matemática (AM) apresentam decréscimo no desempenho escolar e/ou nas avaliações externas (padronizadas) quando comparados aos seus pares com menor nível de ansiedade (CAREY *et al.*, 2017; ASHCRAFT; KRAUSE, 2007). Além disso, indivíduos com alta AM possuem alterações associadas ao aumento da frequência cardíaca, aumento da concentração de cortisol na corrente sanguínea (FAUST, 1992), prejuízo na memória de trabalho (SOLTANLOU *et al.*, 2019) e no controle inibitório (HOPKO *et al.*, 2002), quando comparados com outros indivíduos com baixa AM.

A matemática é uma área fundamental para a ciência, tecnologia e engenharia (SUÁREZ-PELLICIONI; NÚÑEZ-PEÑA; COLOMÉ, 2016). Entretanto, altos níveis de AM acabam sendo obstáculo no processo de formação escolar e podem influenciar negativamente a escolha por cursos e profissões que envolvam cálculos, limitando e impactando o desenvolvimento pessoal e profissional de muitos jovens (YOUNG; WU; MENON, 2012).

Os estudantes brasileiros apresentam alto nível de ansiedade ao teste (OCDE, 2015), ocupando o segundo lugar, dentre 72 países, com o maior número de alunos com ansiedade do mundo. Adicionalmente, o relatório de desempenho na prova do PISA⁸ de 2018 mostrou que a média da proficiência em matemática dos estudantes que compõem os países da OCDE⁹ foi de 384 pontos, enquanto a média dos estudantes brasileiros foi de 108 pontos, portanto 71,88% menor (BRASIL, 2019). Neste cenário, as associações entre a AM e o baixo desempenho dos estudantes brasileiros no componente curricular da matemática precisa ser pesquisados mais profundamente.

Diante da problemática, este artigo é resultado das primeiras pesquisas do projeto intitulado Exercício Físico e Ansiedade Matemática (EXAM), vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemáticas (PPGECM) da Universidade Federal do Pará (UFPA). Trata-se de uma revisão de escopo realizada a partir de buscas em importantes bases de dados eletrônicas (*Medline, Pubmed, Psycinfo e Lilacs*), e que tem como objetivo discutir evidências e perspectivas sobre o benefício do exercício físico no desempenho acadêmico e cognitivo de escolares com ansiedade matemática

Ansiedade Matemática (AM)

A Ansiedade Matemática (AM) é classicamente definida como fobia (medo) específica, aprendida diante de um estímulo e/ou situação (FAUST, 1992) de contato com números ou situações relacionadas à matemática (resoluções de problemas), desencadeando respostas

8PISA é a sigla do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes que avalia estudantes de 15 anos em leitura, matemática e ciências (BRASIL, 2019).

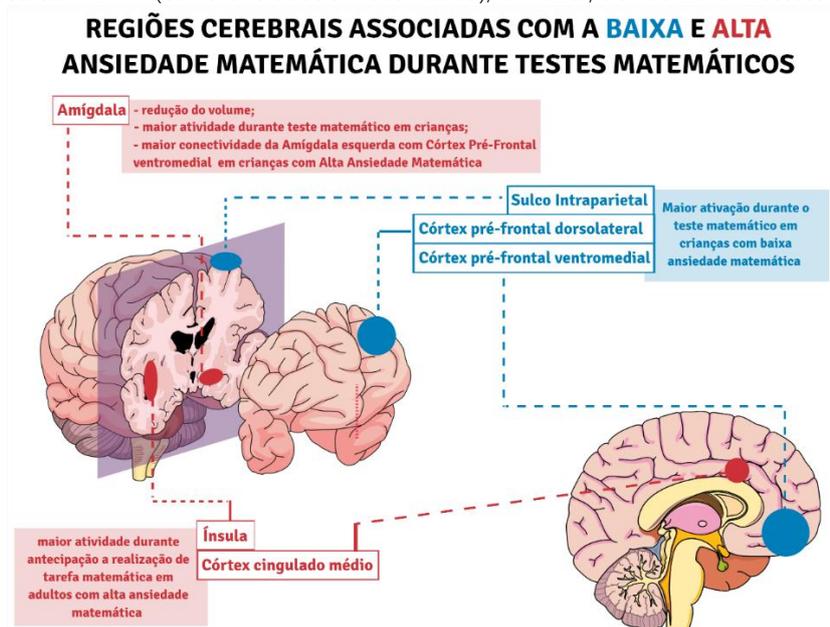
9OCDE é a sigla da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico composta pelos 30 países mais ricos do mundo (GATTI; BARRETO; ANDRÉ, 2011).

emocionais e sentimentos negativos como o estresse e a ansiedade, as quais vão atrapalhar o desempenho do estudante na disciplina (SUÁREZ-PELLICIONI; NÚÑEZ-PEÑA; COLOMÉ, 2016; SUPEKAR *et al.*, 2015). A AM pode ainda ser definida como reação fisiológica desagradável que envolve o aspecto cognitivo e o comportamental (medo e aversão) diante de qualquer contexto relacionado a essa disciplina (MENDES, 2012; MENDES; CARMO, 2014; MENDES, 2016).

A AM é um fenômeno de causa multifatorial que pode incluir o histórico escolar do aluno com experiências negativas na disciplina, o mito na cultura ocidental e/ou na família de que a disciplina é difícil, o ensino não motivacional, o alto número de testes ou problemas a serem resolvidos, a cobrança por respostas ou soluções rápidas, dentre outros (CARMO; SIMIONATO, 2012). Destaca-se que a atuação docente na vivência de experiências negativas com essa disciplina parece exercer papel fundamental na relação entre baixo desempenho escolar e nível de AM dos escolares (SUÁREZ-PELLICIONI; NÚÑEZ-PEÑA; COLOMÉ, 2016).

A AM provoca alterações fisiológicas, cognitivas e comportamentais (FASSIS; MENDES; CARMO, 2014). Chamamos atenção para o aspecto emocional (MOURA-SILVA; BENTO-TORRES; GONÇALVES, 2020), com destaque para duas redes neurais envolvidas com a AM, a rede da dor relacionada com a ínsula¹⁰ e a rede do medo relacionado com a amígdala¹¹ (Figura 1).

Figura 1 – Regiões cerebrais analisadas por meio de ressonância magnética funcional que apresentaram ativação em indivíduos com AAM (alta ansiedade matemática), em vermelho, quanto em indivíduos com BAM (baixa ansiedade matemática), em azul, ao realizarem testes matemáticos.



Fonte: Adaptado de Moura-Silva; Bento-Torres; Gonçalves (2020).

¹⁰A ínsula é um lobo cerebral que está relacionada com diversas funções: linguagem, regulação visceral motora e sensitiva, comportamento alimentar, memória, dor, controle cardiovascular e emoção (ANDRADE, 2013; RIBAS; OLIVEIRA, 2007).

¹¹É um circuito cerebral que está associado com as emoções negativas como o medo, o estresse e a ansiedade (KUCIAN *et al.*, 2018; MADONNA *et al.*, 2019), mas também associada com o aprendizado e a memória emocional (GAZZANIGA *et al.*, 2006).

Os mapeamentos dessas áreas cerebrais são importantes para as pesquisas na área da AM, pois ajudam a esclarecer mecanismos subjacentes das atitudes comportamentais aversivas diante dessa disciplina (SUÁREZ-PELLICIONI; NÚÑEZ-PEÑA; COLOMÉ, 2016). Nos indivíduos com baixa ansiedade matemática sabe-se que há maior ativação no Córtex Pré-frontal Ventro Medial (VM), Dorsolateral (DL) e sulco intraparietal (para revisão ver: MOURA-SILVA; BENTO-TORRES; GONÇALVES, 2020). Nos indivíduos que apresentam alta ansiedade matemática, durante uma tarefa de matemática, registra-se maior ativação da amígdala direita, a qual tem a função de abrigar um repositório de memória do medo de forma inconsciente (YOUNG; WU; MENON, 2012; MADONNA *et al.*, 2019), e na ínsula, responsável pela sensação da dor (ISNARD *et al.*, 2011). Existem, portanto, alterações morfofuncionais em circuitos cerebrais que envolvem áreas como a amígdala, ínsula, córtex pré-frontal e hipocampo (KUCIAN *et al.*, 2018).

Outros achados indicam que durante a resolução de problemas matemáticos em crianças com alta ansiedade matemática, ocorre maior hiperatividade e conectividade funcional da amígdala direita com o hipocampo, e menor ativação nas regiões do Córtex Pré-frontal Parietal e Dorsolateral posterior (DL), envolvidas no raciocínio matemático (EICKHOFF *et al.*, 2005; YOUNG; WU; MENON, 2012; SUPEKAR *et al.*, 2015).

Os achados de Klados e colaboradores (2015) corroboram as evidências anteriores, indicando que níveis mais elevados de ansiedade matemática autorrelatada afetam o funcionamento da memória de trabalho, e que os registros eletroencefalográficos mostraram ativação mais baixa no córtex pré-frontal (envolvido na memória de trabalho) durante a execução de tarefas de cálculo aritmético simples; assim, as evidências indicam que essas áreas são estimuladas antes e durante uma atividade numérica, além da capacidade reduzida da memória de trabalho e controle inibitório.

É importante destacar que na metanálise de Hembree (1990), observou-se correlação fraca ($r = 0,38$) entre AM e ansiedade geral, reforçando o entendimento de que quem possui alta AM pode ter ansiedade geral em níveis elevados, apesar de serem tipos diferentes de ansiedade. Diferente da ansiedade geral, a AM é uma ansiedade de estado e de desempenho, ocorrendo por exemplo durante uma tarefa de matemática, o que se diferencia da ansiedade geral (SUÁREZ-PELLICIONI; NÚÑEZ-PEÑA; COLOMÉ, 2016).

A revisão de Kim e Kim (2021) indica as áreas cerebrais associadas com a ansiedade geral como a amígdala, ínsula, hipocampo, córtex cingulado anterior, córtex pré-frontal. Ademais, achados com auxílio da ressonância magnética funcional, em situações ansiogênicas, com crianças e adolescentes, em comparação aos seus pares do grupo controle, mostraram maior conectividade funcional entre a amígdala direita e o córtex pré-frontal ventrolateral direito (MONK *et al.*, 2008), bem como maior ativação da amígdala direita, com correlações positivas do córtex pré-frontal ventral e córtex cingulado anterior (MCCLURE *et al.*, 2007).

Outros estudos de neuroimagem em crianças com transtornos de ansiedade (MILANI *et al.*, 2017; KUCIAN *et al.*, 2018; KRIBAKARAN *et al.*, 2020) mostraram reduções nos volumes totais do vermis cerebelar, volume cerebral, corpo caloso, hipocampo (esquerdo e direito) e da amígdala (esquerda e direita), indicando que os circuitos cerebrais do Sistema Límbico envolvidos em outros tipos de ansiedade, são os mesmos na AM (MADONNA *et al.*, 2019; SUÁREZ-PELLICIONI; NÚÑEZ-PEÑA; COLOMÉ 2016).

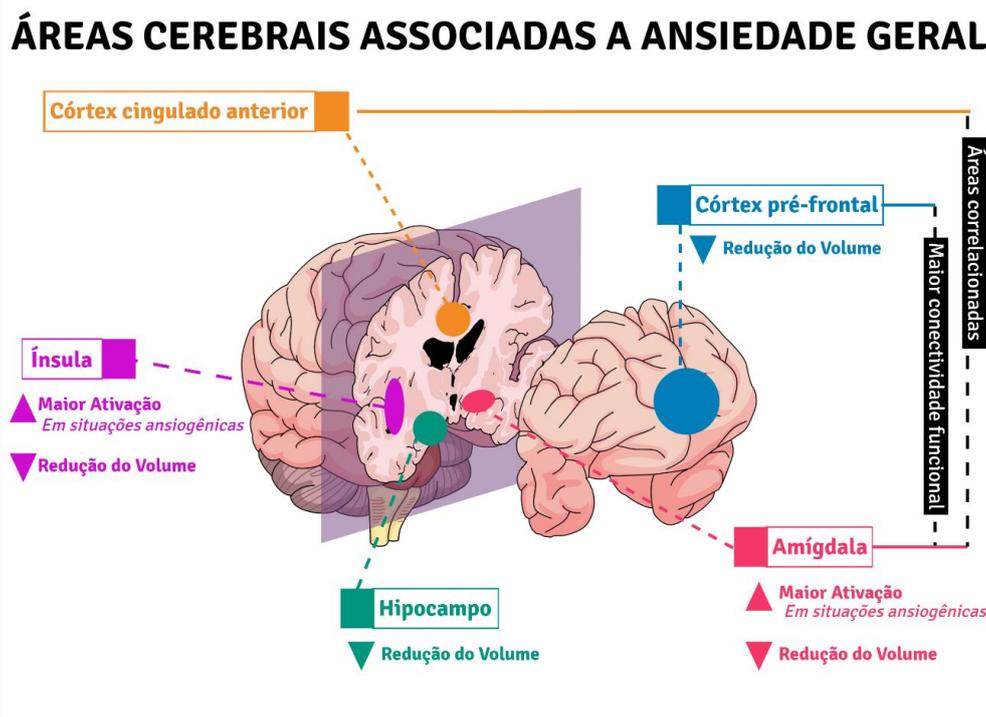
Sobre transtornos de ansiedade, áreas cerebrais afetadas e implicações na aprendizagem, o estudo de Supekar *et al.*, (2013) mostrou a utilização de mediações envolvendo a tutoria cognitiva com crianças na faixa etária de 8 e 9 anos a fim de melhorar a

aprendizagem das habilidades matemáticas. Os resultados da pesquisa indicaram dois aspectos importantes relacionados com os mecanismos neurais sobre a habilidade no desempenho aritmético. Primeiro, como resultados da tutoria cognitiva, registrou-se aumento da conectividade funcional do hipocampo com os córtices pré-frontais dorsolateral (DL) e ventrolateral (VL) e núcleos basais, predizendo melhorias de desempenho. Segundo, a ressonância magnética estrutural indicou que crianças com maior volume da massa cinzenta do hipocampo tiveram melhoria no desempenho aritmético em relação aos seus pares com menores volumes do hipocampo, indicando correlação direta do hipocampo com a melhoria no desempenho (SUPEKAR *et al.*, 2013). Talvez isso possa explicar a baixa performance em atividades que envolvem a memória de trabalho e o desempenho matemático em indivíduos com alta ansiedade matemática (HARTWRIGHTM, *et al.*, 2018).

Dentre essas áreas, destaca-se o córtex pré-frontal dorsolateral (DL), que possui conexões com córtices sensoriais e motores que regulam a atenção, o pensamento e a ação (ARNSTEN, 2009) e o córtex pré-frontal ventromedial (VM), responsável em orientar condutas frente a outros indivíduos da mesma espécie (BUTMAN; ALLEGRI, 2001), que tem conexão com a amígdala (formando os circuitos corticolímbico), relacionado com o processamento e regulação das respostas a estímulos emocionais (SWARTZ *et al.*, 2014a; KIM; KIM, 2021), envolvido nos transtorno de ansiedade em crianças e adolescentes (STRAWN *et al.*, 2012; SWARTZ; MONK, 2014; SWARTZ *et al.*, 2014b).

Notavelmente, transtornos de ansiedade têm sido associados à disfunção cognitiva (ANGERMANN; ERTL, 2018), hipocampal (KANDOLA *et al.*, 2018), e na amígdala (MADONNA *et al.*, 2019), sofrendo remodelação estrutural (com reduções do volume) induzida por estresse e ansiedade em áreas específicas (Figura 2), como o hipocampo, o córtex pré-frontal, a amígdala e a ínsula (MCEWEN, 2007; MONK *et al.*, 2008; MOON; JEONG, 2017; KUCIAN *et al.*, 2018; KRIBAKARAN *et al.*, 2020).

Figura 2: Áreas cerebrais que sofrem mudanças funcionais e estruturais devido a ansiedade geral.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Efeitos do exercício físico na saúde física, cognitiva e mental

O avanço das pesquisas em Neurociências¹² tem permitido o estudo das estruturas encefálicas (GORMAN; DOYLE, 2009; MIMA, 2009) e a análise das áreas mais e menos ativas durante a realização de atividades físicas (PONTIFEX *et al.*, 2018; LAMBRICK *et al.*, 2016; KANDEL *et al.*, 2014; HILLMAN *et al.*, 2009). Nas últimas duas décadas, as pesquisas envolvendo as neurociências e a aprendizagem ganharam notoriedade (WANG *et al.*, 2018; O'REILLY; FRANK, 2006), o que impulsionou a necessidade de mapear as regiões e redes neurais a fim de verificar onde e em quais circunstâncias ocorrem os processos cognitivos específicos (MOURÃO JÚNIOR *et al.*, 2017), bem como, entender os mecanismos relacionados às capacidades mentais humanas mais complexas como a imaginação, a linguagem, a memória, a percepção a consciência, dentre outras (BEAR *et al.*, 2017; KANDEL *et al.*, 2014; LENT, 2010; GAZZANIGA *et al.*, 2006).

De acordo com as evidências sobre possíveis mediadores, abordaremos as implicações do exercício físico sobre (i) a função e estrutura cerebral, (ii) a aptidão cardiorrespiratória, (iii) a cognição (e desempenho escolar), e (iv) a saúde mental.

A prática do exercício físico¹³ promove diversas alterações fisiológicas no sistema nervoso de crianças, adolescentes, adultos e idosos, como, por exemplo, padrões elevados e mais eficientes de atividade cerebral, com maior ativação no córtex pré-frontal na condição pós-exercício, (TOMPOROWSKI, 2003; ERICKSON; HILLMAN; KRAMER, 2015; KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016; DONNELLY *et al.*, 2016), melhorias funcionais de longo prazo no córtex pré-frontal (HASLACHER *et al.*, 2015) e estruturais no hipocampo¹⁴ (WRANN, 2015; BASSO; SUZUKI, 2017).

Estudos mostram que as modificações funcionais e estruturais (definidas como neuroplasticidade) decorrentes da prática do exercício físico ao longo da vida melhoram a saúde do cérebro (BURLEY *et al.*, 2016), resultando em melhorias na aprendizagem, aquisição de habilidades e no aumento da capacidade do indivíduo em responder a novas demandas com adaptações comportamentais (HÖTTING; RÖDER, 2013).

A prática de exercício físico aumenta a aptidão cardiorrespiratória (ACR)¹⁵ em crianças (CASTELLI *et al.*, 2007; CHOMITZ *et al.*, 2009), adultos (RAMÍREZ-VÉLEZ *et al.*, 2020) e idosos (YU *et al.*, 2018). Nesse contexto, dados convergentes de pesquisas mostram a relação da prática do exercício físico com o aumento da ACR, melhorando a saúde do cérebro e função cognitiva na infância (KHAN; HILLMAN, 2014), em diversos aspectos, como por exemplo na criatividade, concentração, testes verbais e matemáticos (VOSS *et al.*, 2011; DONNELLY *et al.*, 2016).

¹²Neurociências é uma área do conhecimento que tem o objetivo de compreender o funcionamento do sistema nervoso (que envolve o cérebro, a medula espinhal e os nervos do corpo) e as pessoas que estudam cientificamente sobre essa área são consideradas neurocientistas (BEAR *et al.*, 2017).

¹³É um tipo de atividade física que tem as seguintes características: o planejamento, a estruturação e a sistematização com propósito de promover a manutenção ou melhoria do condicionamento físico (CASPERSEN; POWELL; CHRISTENSON, 1985; ORTEGA *et al.*, 2008).

¹⁴É uma estrutura do sistema nervoso central, localizado no lobo temporal central, em cada hemisfério encefálico, com alto grau de plasticidade, relacionada com a aprendizagem (TEIXEIRA, 2013), que tem a função de formar e armazenar memórias (CHENG, 2013; LAZAROV; HOLLANDS, 2016).

¹⁵É a capacidade máxima dos sistemas cardiovascular e respiratório de fornecer oxigênio aos músculos esqueléticos durante o exercício (CAO *et al.*, 2019; MYERS; KOKKINOS; NYELIN, 2019).

A prática de exercício físico, em particular do treinamento intervalado de alta intensidade, proporciona a redução do Índice de Massa Corpórea (IMC) e gordura corporal (COSTIGAN *et al.*, 2015a), melhorando também a aptidão cardiorrespiratória e muscular em crianças e adolescentes (TOTTORI *et al.*, 2019; CAO *et al.*, 2019; MARTIN-SMITH *et al.*, 2020) e reduzindo a depressão, o estado de ansiedade, melhorando o estado de humor e autoestima (ORTEGA *et al.*, 2008; BONHAUSER *et al.*, 2005).

A prática do exercício físico também proporciona melhorias na cognição¹⁶ (TOMPOROWSKI *et al.*, 2008; BORROR, 2017) e em funções cerebrais específicas (TOMPOROWSKI, 2003; ESTEBAN-CORNEJO *et al.*, 2015; ERICKSON; HILLMAN; KRAMER, 2015). De fato, maiores níveis de ACR em crianças predizem melhor desempenho escolar tanto em matemática quanto em leitura (SIBLEY; ETNIER, 2003; GRISSOM, 2005; CHOMITZ *et al.*, 2009), uma vez que crianças com maior ACR mostram melhor desempenho aritmético nos testes padronizados, maior desempenho acadêmico e maior eficiência em atividades de controle cognitivo que envolvem o controle inibitório, a memória de trabalho e a flexibilidade cognitiva (CASTELLI *et al.*, 2007; CHOMITZ *et al.*, 2009; CHADDOCK *et al.*, 2012; CHADDOCK-HEYMAN *et al.*, 2015).

As pesquisas que investigaram os efeitos do exercício físico na cognição e no desempenho escolar, particularmente, em crianças e adolescentes, apresentaram correlação com a intensidade do exercício¹⁷, tanto para os efeitos agudos de uma única sessão de exercícios físicos de intensidade moderada (HILLMAN *et al.*, 2009; DROLLETTE *et al.*, 2012; DROLLETTE *et al.*, 2014), quanto para os efeitos crônicos do exercício de intensidade moderada (ARDOY *et al.*, 2014; HAVEE *et al.*, 2018; TOMPOROWSKI; PESCE, 2019). Os efeitos agudos e crônicos do exercício físico de alta intensidade¹⁸ sobre a cognição também foram demonstrados ao longo da vida (HSIEH *et al.*, 2021).

Os exercícios físicos de altas intensidades podem ser viáveis no ambiente escolar para melhorar alguns atributos da aptidão física, da cognição e da saúde mental dos adolescentes (COSTIGAN *et al.*, 2015b; COSTIGAN *et al.*, 2016). Em revisão sistemática e meta-análise que investigou os efeitos crônicos do treinamento intervalado de alta intensidade, no contexto escolar, em pré-adolescentes e adolescentes na faixa etária de 11 a 18 anos, evidenciou-se melhorias na aptidão física, com redução do Índice de Massa Corpórea (IMC) e gordura corporal (COSTIGAN *et al.*, 2015a). Tottori *et al.*, (2019) indicaram efeitos positivos do treinamento intervalado de alta intensidade, realizadas em três sessões de 8 a 10 minutos por semana, durante 1 mês, sobre a memória de trabalho e componentes da aptidão física. Em

¹⁶A cognição humana é multidimensional, formada por diversas funções cognitivas como a atenção, a memória, a linguagem, a percepção, as funções executivas, dentre outras (ZIMMERMANN *et al.*, 2016). Os referenciais neuropsicológicos dizem respeito, com maior frequência, a três componentes da FE: o controle inibitório, a memória de trabalho e a flexibilidade cognitiva (DIAMOND, 2013; MIYAKE *et al.*, 2000).

¹⁷A intensidade do exercício físico pode ser descrita pelo percentual da Frequência Cardíaca Máxima (FC_{máx}), levando-se em consideração a escala de Borg., que se divide em: muito leve (< 35%), leve (35- 59%), moderada (60 a 79%), elevada (80%-89%), muito elevada (> 90%) e muito, muito pesado (100%) (POLLOCK; FEIGENBAUM; BRECHUE, 1995).

¹⁸Este tipo de exercício físico é conhecido no Brasil pela sigla TIAI - Treinamento Intervalado de Alta Intensidade, e no idioma inglês pela sigla HIIT - *High Intensity Interval Training* (CETOLIN, 2014; ALVES *et al.*, 2018; PERRIER-MELO *et al.*, 2018; STEIN, 2018; JOAQUIM, 2019). Se caracteriza pela prática de exercício físico intermitente de alta intensidade, correspondendo a valores acima de 85% da frequência cardíaca máxima (FC_{máx.}), intercalados com períodos de recuperação (EDDOLLS *et al.*, 2017).

relação ao efeito agudo desse tipo de exercício físico no contexto escolar, os resultados mostram melhorias no controle cognitivo e na saúde mental em crianças e adolescentes (PINDUS *et al.*, 2019; KAO *et al.*, 2017).

Dentre as pesquisas que investigaram os efeitos do exercício físico na cognição, o componente do controle inibitório aparece como um dos mais pesquisados (PONTIFEX *et al.*, 2018). O controle inibitório (ou inibição, ou atenção seletiva) é uma habilidade cognitiva da função executiva¹⁹ que se caracteriza pela inibição de distrações (interferências) para realizar respostas precisas em determinada situação (ZIMMERMANN *et al.*, 2016; STERNBERG; STERNBERG, 2016; SILVA *et al.*, 2017). Alguns estudos mostram que esse componente cognitivo é diretamente afetado pela ansiedade traço (geral, relacionado a personalidade) ou estado (situações específicas), tornando os indivíduos menos capazes de inibir distratores (REINHOLDT-DUNNE; MOGG; BRADLEY, 2009; STERNBERG; STERNBERG, 2016).

A memória de trabalho é a segunda habilidade cognitiva mais avaliada nas pesquisas envolvendo os efeitos do exercício físico na cognição (PONTIFEX *et al.*, 2018). A memória de trabalho é a capacidade de reter e manipular temporariamente uma informação, enquanto realiza operações mentais com a informação armazenada previamente (GAZZANIGA *et al.*, 2006) e está diminuída em crianças com alta ansiedade matemática (SOLTANLOU *et al.*, 2019). O modelo que explica o funcionamento dessa habilidade cognitiva chama-se modelo de memória de trabalho multicomponente de Baddeley (2010), conforme citado por Chai; Abd Hamid; Abdullah (2018). Segundo esse modelo (Figura 3), a memória de trabalho é um sistema multicomponente que manipula o armazenamento de informações que serão utilizadas em atividades cognitivas mais complexas e é composta por quatro subcomponentes envolvidos.

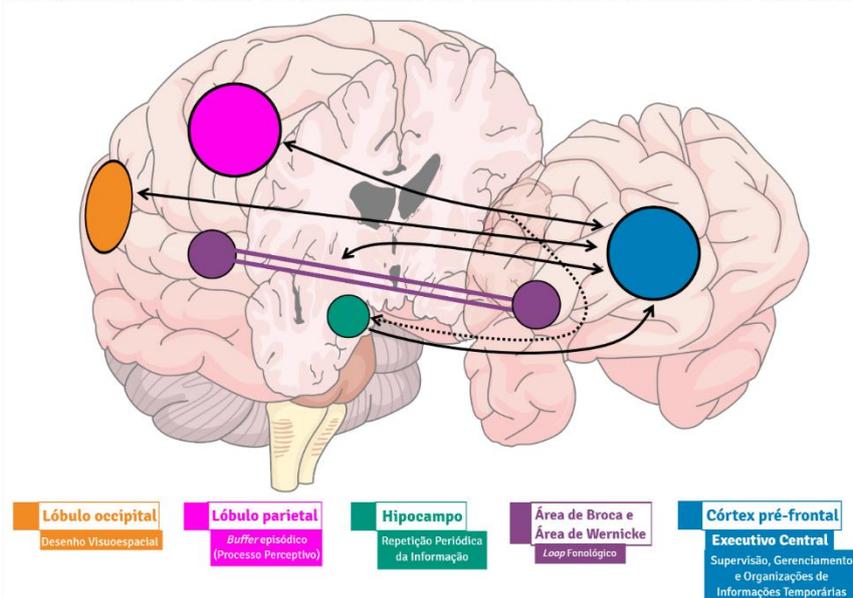
O primeiro componente, chamado de loop fonológico, envolve a ativação do circuito das áreas de Broca e de Wernicke. O segundo chama-se o desenho (esboço) visuoespacial, o qual envolve a ativação do lóbulo occipital. O terceiro é o *buffer* episódico, no qual há ativação do lóbulo parietal e, por fim, o executivo central que, através da ativação do córtex pré-frontal envolve o sistema de controle atencional e funciona como o “centro de controle” que supervisiona a manipulação, a recuperação e o processamento de informações (CHAI; ABD HAMID; ABDULLAH, 2018).

Outro componente importante nesse processo é o hipocampo. Por mais que essa região seja tradicionalmente relacionada ao suporte à memória declarativa de longo prazo (LUM; CONTI-RAMSDEN, 2013), estudos recentes apontam que o hipocampo é responsável pela manutenção da memória de trabalho, através de um mecanismo de recuperação da memória de longo prazo que mantém a representação da informação percebida anteriormente e não mais disponíveis por meio da repetição periódica de informações no hipocampo (BEN-YAKOV; DUDAI, 2011; FUENTEMILLA *et al.*, 2010; POCH *et al.*, 2011).

¹⁹As Funções Executivas (FE) são um conjunto de funções que exigem controle da atenção, do planejamento de metas e um comportamento intencional direcionado à realização de objetivos (ZIMMERMANN *et al.*, 2016, CAPOVILLA *et al.*, 2007; MALLOY-DINIZ *et al.*, 2014).

Figura 3 – Modelo adaptado de memória de trabalho multicomponente de Baddeley. Existe uma comunicação bidirecional do córtex pré-frontal com o lóbulo occipital, lóbulo parietal e áreas de Broca e de Wernicke. Os estímulos de buffer episódico, desenho visuoespacial e loop fonológico são deslocados para o hipocampo onde ocorre uma repetição periódica da informação e posterior retransmissão da informação novamente para o córtex pré-frontal

MODELO ADAPTADO DE MEMÓRIA DE TRABALHO MULTICOMPONENTE



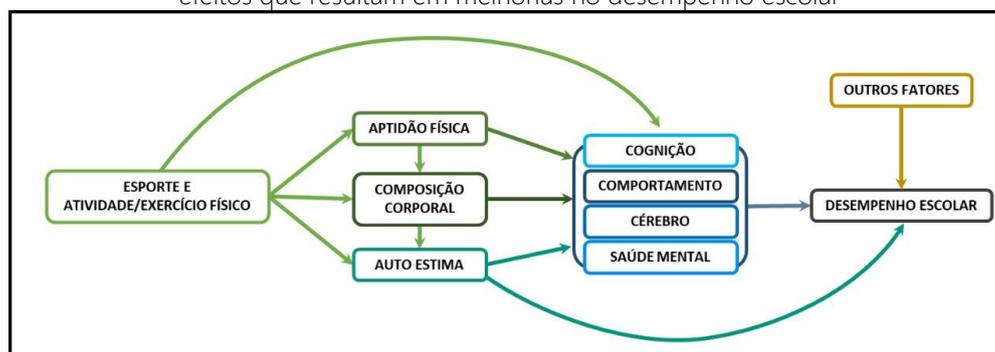
Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Os componentes da função executiva, como o controle inibitório e a memória de trabalho, associados a outros, como por exemplo a orientação espacial e o raciocínio, são fundamentais e preditores para as habilidades da aprendizagem matemática em crianças (BULL; SCERIF, 2001; ST CLAIR-THOMPSON; GATHERCOLE, 2006; ANDERSSON, 2008). As evidências indicam que crianças fisicamente ativas, quando comparadas com seus pares menos ativos, apresentam maior volume do hipocampo e núcleos da base, maior integridade da substância branca, padrões elevados e mais eficientes de atividade cerebral, desempenho cognitivo superior e melhor desempenho escolar (ERICKSON; HILLMAN; KRAMER, 2015).

Nesse contexto, entender os benefícios neurocognitivos de um estilo de vida ativo durante a infância tem importantes implicações educacionais e de saúde pública, haja visto que, nos últimos anos, as crianças estão se tornando cada vez mais sedentárias e inativas (CHADDOCK *et al.*, 2010; BERMEJO-CANTARERO *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018). Este cenário é agravado pela maior propensão de crianças e adolescentes a experimentar maiores taxas de depressão e ansiedade durante e após o término do isolamento social gerado pela pandemia da COVID-19 (LOADES *et al.*, 2020; SINGH *et al.*, 2020), impactando diretamente em sua saúde mental (LEE *et al.*, 2020; SALTZMAN; HANSEL; BORDNICK, 2020). No que se refere a saúde mental, evidências indicam que a prática do exercício físico atua como terapia não farmacológica complementar para reduzir o estado de diversos transtornos mentais, dentre esses a ansiedade (JAYAKODY; GUNADASA; HOSKER, 2014; CAMPOS, *et al.*, 2019; ASHDOWN-FRANKS *et al.*, 2020; ENSARI *et al.*, 2015; GORDON *et al.*, 2017).

Como síntese das discussões até o momento, apresentamos as implicações da prática do exercício físico no cérebro, na aptidão física, na cognição e na saúde mental (Figura 4).

Figura 4 – Implicações da prática do esporte, atividade e exercício físico, originando sequência de efeitos que resultam em melhorias no desempenho escolar



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Possíveis efeitos do exercício físico sobre a ansiedade matemática

Intervenções baseadas nos exercícios físicos em pessoas com transtornos de ansiedade, tem-se mostrado eficazes como terapias alternativas para reduzir seus sintomas (STONEROCK *et al.*, 2015; STUBBS *et al.*, 2017; CHEN *et al.*, 2020), tanto em sessões agudas (ENSARI *et al.*, 2015), quanto de modo crônico (HERRING; O'CONNOR; DISHMAN, 2010). O exercício aeróbico é eficaz no tratamento para a redução no nível de estado da ansiedade e exercícios de alta intensidade mostraram efeitos maiores na redução nos níveis de ansiedade em comparação a programas de exercícios de baixa intensidade (AYLETT *et al.*, 2018). Outros achados indicam melhor desempenho cognitivo e melhorias no funcionamento do hipocampo (KANDOLA *et al.*, 2016).

Uma intervenção por exercício aeróbico, de moderada a alta intensidade, realizada em jovens com ansiedade social durante 4 meses (60 minutos, 3x por semana), gerou redução dos níveis de ansiedade, com aumento significativo do volume da massa cinzenta do hipocampo (CORBETT, 2019). Outra pesquisa empregou o exercício físico agudo (corrida na esteira *versus* caminhada) por meio do ensaio cruzado, em pessoas com ansiedade, e mostrou que após a corrida, a amígdala exibiu maior conectividade funcional, positivamente correlacionada com o córtex orbito frontal e a ínsula (CHEN *et al.*, 2019).

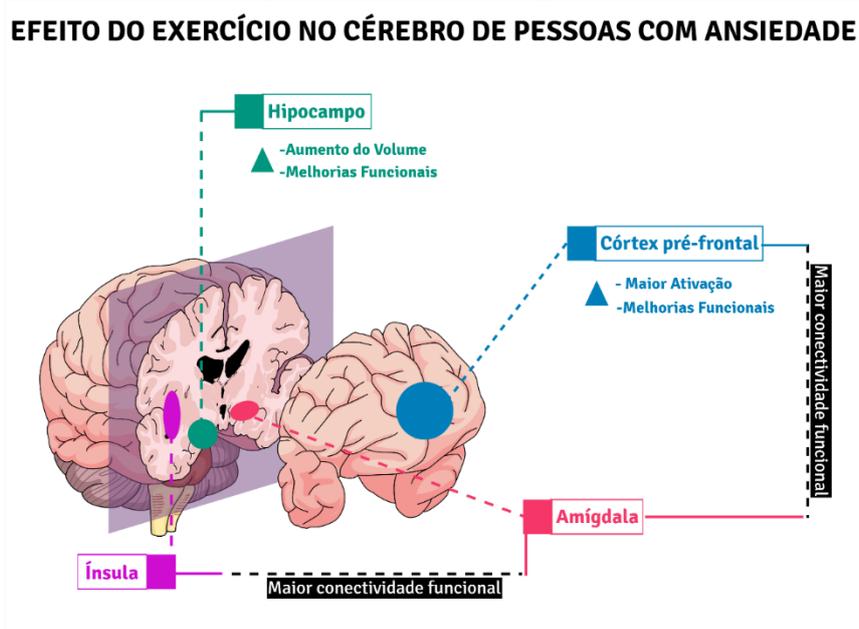
As evidências indicam três possíveis mecanismos do benefício de intervenções por exercício físico no estado de ansiedade. O primeiro diz respeito a melhoria da função do hipocampo em regular o eixo Hipotálamo-Pituitária-Adrenocortical (HPA), no qual atua como feedback das respostas ao estresse e ansiedade (JACOBSON; SAPOLSKY, 1991; MCEWEN, 2007). O segundo está relacionado com as propriedades anti-inflamatórias do exercício físico, exercendo impacto positivo no tratamento de transtornos de ansiedade ao mediar as vias inflamatórias crônicas (MOYLAN *et al.*, 2013; VOGELZANGS *et al.*, 2013). O terceiro está relacionado aos mecanismos neurogênicos importantes para o funcionamento adequado do cérebro, induzidos pelo exercício físico, devido os fatores de crescimento de regulação positiva, como o fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) (KNAEPEN *et al.*, 2010; KANDOLA *et al.*, 2018), comprovando o grande efeito do exercício físico na melhoria do funcionamento e neurogênese do hipocampo (VOSS *et al.*, 2013; HUANG; REICHARDT, 2001).

Além disso, alguns achados já demonstram a capacidade de algumas exercinas em mediar o efeito do exercício físico em transtornos de humor. Por mais que esses estudos

frequentemente estejam focados na depressão (DELEZIE; HANDSCHIN, 2018; PEDERSEN, 2019), alguns achados elucidam a via músculo-cérebro pela qual o exercício físico tem seu efeito ansiolítico. Um estudo recente demonstrou que a atividade física voluntária diminui a ansiedade, de modo associado ao aumento dos níveis de oxitocina no cérebro de camundongos fêmeas (YÜKSEL *et al.*, 2019). A irisina é uma exercina que pode mediar essa relação, estando associada ao aumento do BDNF, e sendo um fator influente na diminuição dos transtornos de ansiedade (CHIAVAROLI *et al.*, 2017; WRANN *et al.*, 2013; UYSAL *et al.*, 2018).

Em síntese, as discussões apresentadas até o momento, indicam que as áreas afetadas pela Ansiedade Matemática e pela Ansiedade Geral são as mesmas, em particular o córtex pré-frontal, hipocampo, amígdala e ínsula. No entanto, quando pessoas com ansiedade são submetidas a um programa de intervenção através do exercício físico, apresentam aumento da conectividade funcional positiva da amígdala (responsável pelo processamento e regulação das respostas a estímulos emocionais) com o córtex pré-frontal e com a ínsula, bem como, aumento no volume do hipocampo, indicando os benefícios do exercício físico em uma área cerebral importante responsável pela formação, armazenamento da memória e aprendizagem (Figura 5).

Figura 5 – Áreas cerebrais que sofrem mudanças funcionais e estruturais devido ao exercício físico em pessoas com ansiedade geral.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Ademais, se estados de estresse e ansiedade implicam na redução das habilidades cognitivas das funções executivas (LISTON; MCEWEN; CASEY, 2009; ARNSTEN, 2009; DIAMOND; LING, 2016), por afetar áreas do córtex pré-frontal (YOUNG; WU; MENON, 2012; MOURA-SILVA; BENTO-TORRES; GONÇALVES, 2020) e do hipocampo (MILANI *et al.*, 2017; KRIBAKARAN *et al.*, 2020), intervenções baseadas em exercício físico, vem ganhando destaque no campo da neurociência cognitiva, pelas descobertas de que o exercício físico induz a neurogênese hipocampal em humanos (RAICHLIN; ALEXANDER, 2017; MA *et al.*, 2017). O exercício é uma promissora abordagem terapêutica em distúrbios que comprometem a integridade do hipocampo (OUDEN *et al.*, 2018; ERICKSON; HILLMAN; KRAMER, 2015;

CHADDOCK *et al.*, 2010), apresentando maior ativação no córtex pré-frontal na condição pós-exercício (TOMPOROWSKI, 2003; ERICKSON; HILLMAN; KRAMER, 2015; DONNELLY *et al.*, 2016), melhorando a saúde cognitiva ao longo da vida humana (GOMEZ-PINILLA; HILLMAN, 2013; KENNEDY *et al.*, 2017), prevenindo o declínio cognitivo, que está associado com doenças neurodegenerativas relacionadas ao envelhecimento, como Alzheimer e Parkinson (BARNES, 2015; MA *et al.*, 2017; LIU *et al.*, 2019).

Outros estudos indicam que melhorias da ACR induzidas pelo exercício físico (HÖTTING; RÖDER, 2013), contribuem à plasticidade cerebral, atuando como prevenção do envelhecimento do cérebro humano (COLCOMBE *et al.*, 2004). Nesse contexto, os estudos de conectividade com o uso de ressonância magnética que investigaram a rede de modo padrão indicam que níveis mais altos de ACR estão associados ao aumento da conectividade funcional em estado de repouso do hipocampo e regiões corticais pré-frontais em adultos jovens saudáveis (STILLMAN *et al.*, 2018).

Outro estudo que utilizou a conectividade funcional da rede de modo padrão em estado de repouso e durante o teste de esteira, testou a hipótese de que a ACR prediz a conectividade entre o hipocampo e outras áreas cerebrais como o córtex pré-frontal ventromedial, córtex cingulado posterior e córtex temporal lateral e córtex pré-frontal dorsomedial, o que foi confirmado pelas análises de regressão linear (KRONMAN *et al.*, 2020).

Por fim, o estudo de Esteban-Cornejo *et al.*, (2021) foi o primeiro a investigar a relação da ACR e conectividade em crianças com sobrepeso e obesidade, apresentando maior conectividade funcional do estado de repouso no hipocampo a regiões corticais, indicando que a maior ACR, pode melhorar a conectividade funcional do hipocampo anterior e regiões frontais do cérebro. Dessa forma, os três estudos mostraram que a ACR, está associada com maior conectividade nas mesmas regiões como o hipocampo e córtex pré-frontal, tanto em indivíduos saudáveis quanto em não saudáveis.

Em particular tanto o hipocampo quanto o córtex pré-frontal sofrem alterações decorrentes do exercício físico e essas áreas têm relação direta com os aspectos da cognição, tais como o controle inibitório, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva (CHADDOCK *et al.*, 2012), sendo importantes habilidades preditoras da aprendizagem escolar (ANDERSSON, 2008), com evidências indicando que elas são potencializadas pelo exercício físico, sugerindo associações positivas com a cognição e aumento do desempenho matemático (DONNELLY *et al.*, 2016; SNECK *et al.*, 2019).

Sobre a saúde mental, evidências indicam melhoria na função hipocampal de adolescentes submetidos a intervenções de exercício físico (HUESTON; CRYAN; NOLAN, 2017), indicando os efeitos do exercício físico na melhoria do estado de humor (VAN PRAAG, 2008), assim como na estrutura do hipocampo que desempenha uma função importante na função cognitiva (aprendizagem e memória), bem como na regulação do humor e comportamentos afetivos (BETTIO *et al.*, 2020).

Por fim, duas revisões sistemáticas recentes corroboram com toda a discussão apresentada ao longo do texto, demonstrando que a prática de exercícios físicos induz no cérebro mudanças funcionais e estruturais, melhorando a cognição, desempenho acadêmico, saúde física e psicológica (MANDOLESI *et al.*, 2018; ERICKSON *et al.*, 2018).

A teoria é que se o exercício físico provoca efeitos positivos sobre o desempenho cognitivo e saúde mental em pessoas que têm ansiedade geral é porque altera o mediador (cérebro), nossa hipótese é que também vai alterar o das crianças que tem ansiedade matemática, pela semelhança neuroanatomia das alterações decorrentes da ansiedade

matemática e da ansiedade geral. Portanto, o exercício físico pode alterar o cérebro, tornando melhor, funcionalmente e estruturalmente, áreas que são afetadas na ansiedade matemática (Figura 6) e melhorando o comportamento e a cognição.

Considerando o acima exposto e entendendo que os benefícios do exercício físico na ansiedade matemática ainda não foram demonstrados, hipotetizamos que a prática do exercício físico melhora a cognição, o desempenho escolar e a saúde mental em crianças com ansiedade matemática. O que propomos investigar é algo inédito decorrente das pesquisas que estão sendo realizadas no projeto EXAM da Universidade Federal do Pará (UFPA), com potenciais implicações educacionais e de saúde pública. O infográfico elaborado por nós ilustra, a partir das evidências, a hipótese de pesquisa.

Figura 6 – As mesmas variáveis que são afetadas pela ansiedade matemática se beneficiam da prática de exercício físico.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Considerações finais

Para o desenvolvimento social e econômico do Brasil é preciso criar estratégias diversas de combate aos baixos índices de desempenho educacional e os altos índices de ansiedade dos estudantes. Essas demandas são maiores no contexto brasileiro e amazônico, onde estão os piores índices de desempenho escolar em matemática.

Ações governamentais, nas diferentes esferas públicas administrativas, que envolvam a execução das políticas públicas educacionais básicas e vigentes, associadas a implantação das estratégias para as quais se tem evidência científica recente são fundamentais. Neste contexto, são imperiosas mudanças de paradigmas teórico-metodológico, a formação continuada dos professores e gestores, ações de educação em saúde e de letramento científico dos discentes e familiares para que possam compreender a necessidade de mudanças de hábitos de posturas didáticas e a adoção de hábitos de vida fisicamente ativa.

Por fim, para transpor essa situação, é necessário mais investimento financeiro em pesquisas relacionadas com a temática, assim como, a implementação de políticas públicas educacionais que possam aumentar o tempo de exercício físico no currículo escolar, o que pode proporcionar melhoria no desempenho escolar, saúde física e mental dos estudantes.

Referências

ALVES, B. L. *et al.* Comparação dos efeitos do treinamento aeróbio de baixa e alta intensidade no emagrecimento: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, São Paulo. v.12. n.75. Suplementar 1. p.448-461. Jan./Jun. 2018.

ARNSTEN, A. F. Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. **Nat Rev Neurosci.** 2009 Jun;10(6): 410-22.

ANDERSSON, U. Working memory as a predictor of written arithmetical skills in children: the importance of central executive functions. **Br J Educ Psychol.** 2008 Jun;78(Pt 2):181-203.

ANDRADE, A. F. A. **Volume da ínsula**: estudo de 58 indivíduos saudáveis. 2013. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Biológicas. Recife, 2013.

ANGERMANN, C. E; ERTL, G. Depression, Anxiety, and Cognitive Impairment: Comorbid Mental Health Disorders in Heart Failure. **Curr Heart Fail Rep.** 2018 Dec;15(6):398-410.

ARDOY, D. N. *et al.* A Physical Education trial improves adolescents' cognitive performance and academic achievement: the EDUFIT study. **Scand J Med Sci Sports.** 2014 Feb;24(1): e52-61.

ASHCRAFT, M. H.; KRAUSE, J. A. Working memory, math performance, and math anxiety. **Psychonomic Bulletin & Review.** 2007 Apr;14(2):243-8.

ASHDOWN-FRANKS, G. *et al.* Exercise as Medicine for Mental and Substance Use Disorders: A Meta-review of the Benefits for Neuropsychiatric and Cognitive Outcomes. **Sports Med.** 2020 Jan;50(1):151-170.

AYLETT, E. *et al.* Exercise in the treatment of clinical anxiety in general practice - a systematic review and meta-analysis. **BMC Health Serv Res.** 2018 Jul 16;18(1):559.

BADDELEY, A. Working memory. **Current biology: CB**, v. 20, n. 4, p. R136-140, 23 fev. 2010.

BARNES, J.N. Exercise, cognitive function, and aging. **Adv Physiol Educ.** 2015 Jun;39(2):55-62.

BASSO, J. C.; SUZUKI, W. A. The effects of acute exercise on mood, cognition, neurophysiology, and neurochemical pathways: a review. **Brain Plasticity.** 2017 Mar;2(2):127-152.

BEAR, M. F. *et al.* **Neurociências: desvendando o sistema nervoso**. tradução: [Carla Dalmaz ... et al.];[revisão técnica: Carla Dalmaz, Jorge Alberto Quillfeldt, Maria Elisa Calcagnotto]. 4. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

BEN-YAKOV, A.; DUDAI, Y. Constructing realistic engrams: poststimulus activity of hippocampus and dorsal striatum predicts subsequent episodic memory. **The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience**, v. 31, n. 24, p. 9032-9042, 15 jun. 2011.

BERMEJO-CANTARERO, A. *et al.* Association between physical activity, sedentary behavior, and fitness with healthrelated quality of life in healthy children and adolescents: A protocol for a systematic review and meta-analysis. **Medicine (Baltimore).** 2017 Mar;96(12):e6407.

BETTIO, L. *et al.* Interplay between hormones and exercise on hippocampal plasticity across the lifespan. **Biochim Biophys Acta Mol Basis Dis.** 2020 Aug 1;1866(8):165821.

- BORROR, A. Brain-derived neurotrophic factor mediates cognitive improvements following acute exercise. **Med Hypotheses**. 2017 Sep;106:1-5.
- BURLEY, C. V. *et al.* Brain train to combat brain drain; focus on exercise strategies that optimize neuroprotection. **Exp Physiol**. 2016 Sep 1;101(9):1178-1184.
- BONHAUSER, M. *et al.* Improving physical fitness and emotional well-being in adolescents of low socioeconomic status in Chile: results of a school-based controlled trial. **Health Promot Int**. 2005 Jun;20(2):113-22.
- BRASIL. **Relatório do Brasil no PISA 2018**. Brasília: MEC/INEP/DAEB, 2019. Disponível em: https://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/documentos/2019/relatorio_PISA_2018_preliminar.pdf. Acesso em 05 de janeiro de 2020.
- BUTMAN, J.; ALLEGRI, R. F. A Cognição Social e o Córtex Cerebral. **Psicol. Reflex. Crit.**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 275-279, 2001.
- BULL, R.; SCERIF, G. Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: inhibition, switching, and working memory. **Dev Neuropsychol**. 2001;19(3):273-293.
- CAO, M. *et al.* Effect of High-Intensity Interval Training versus Moderate-Intensity Continuous Training on Cardiorespiratory Fitness in Children and Adolescents: A Meta-Analysis. **Int J Environ Res Public Health**. 2019 Apr 30;16(9):1533.
- CAMPOS, C. G. *et al.* Conhecimento de adolescentes acerca dos benefícios do exercício físico para a saúde mental. **Ciênc. saúde coletiva**. Rio de Janeiro, v. 24, n. 8, p. 2951-2958, agosto de 2019.
- CAPOVILLA, A. G. S. *et al.* Avaliação neuropsicológica das funções executivas e relação com desatenção e hiperatividade. **Aval. psicol.** Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 51-60, jun., 2007.
- CAREY, E. *et al.* Differentiating anxiety forms and their role in academic performance from primary to secondary school. **PLoSOne**. 2017;12(3):e0174418. Published 2017 Mar 28.
- CARMO, J. S.; SIMIONATO, A. M. Reversão de ansiedade à matemática: alguns dados da literatura. **Psicologia em Estudo**, Maringá, 2012, v.17, n. 2, p. 317-327.
- CASPERSEN, C. J.; POWELL, K. F.; CHRISTENSON, G. M. Physical activity, exercise and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. **Public Health Rep**. 1985;100:126-31.
- CASTELLI, D. M. *et al.* Physical fitness and academic achievement in third- and fifth-grade students. **J Sport Exerc Psychol**. 2007 Apr;29(2):239-52.
- CETOLIN, T. **Respostas fisiológicas do treinamento intervalado de alta intensidade em terreno arenoso e de grama natural em jogadores de futebol**. 2014, 77 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física). Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de desportos. Programa de pós-graduação em educação física. Florianópolis, SC, 2014.
- CHADDOCK, L. *et al.* A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. **Brain research**. 2010 Oct;1358, 172-183.
- CHADDOCK, L. *et al.* Childhood aerobic fitness predicts cognitive performance one year later. **Journal of Sports Sciences**. 2012;30(5):421-30.

- CHADDOCK-HEYMAN, L. *et al.* The role of aerobic fitness in cortical thickness and mathematics achievement in preadolescent children. **PLoS ONE**.2015 Aug;10(8):e0134115.
- CHAI, W. J.; ABD HAMID, A. I.; ABDULLAH, J. M. Working Memory From the Psychological and Neurosciences Perspectives: A Review. **Frontiers in Psychology**, v. 9, p. 401, 2018.
- CHENG, S. The CRISP theory of hippocampal function in episodic memory. **Front Neural Circuits**. 2013 May 6;7:88.
- CHEN, Y. C. *et al.* Habitual physical activity mediates the acute exercise-induced modulation of anxiety-related amygdala functional connectivity. **Sci Rep**. 2019 Dec 24;9(1):19787.
- CHEN, Z. *et al.* Exercise Intervention in Treatment of Neuropsychological Diseases: A Review. **Front Psychol**. 2020 Oct 22;11:569206.
- CHIAVAROLI, A. *et al.* Effects of central fibroblast growth factor 21 and irisin in anxiety-like behavior. **J Biol Regul Homeost Agents**. 2017 Jul-Sep;31(3):797-802.
- CHOMITZ, V. R. *et al.* Is there a relationship between physical fitness and academic achievement? Positive results from public school children in the northeastern United States. **J Sch Health**. 2009 Jan;79(1):30-7.
- CORBETT, S. Adolescent Mental Health: Canadian Psychiatric Risk and Outcome Study (PROCAN)- **Exercise Intervention Pilot Study** (Unpublished doctoral thesis). University of Calgary, Calgary, AB. 2019.
- COLCOMBE, S. J. *et al.* Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. **Proc Natl Acad Sci U S A**. 2004 Mar;101(9):3316-3321.
- COSTIGAN, S. A. *et al.* High-intensity interval training for improving health-related fitness in adolescents: a systematic review and meta-analysis. **Br J Sports Med**. 2015a Oct;49(19):1253-1261.
- COSTIGAN, S. A. *et al.* Preliminary efficacy and feasibility of embedding high intensity interval training into the school day: A pilot randomized controlled trial. **Prev Med Rep**. 2015b;2:973-979.
- COSTIGAN, S. A. *et al.* High-Intensity Interval Training for Cognitive and Mental Health in Adolescents. **MedSci Sports Exerc**. 2016 Oct;48(10):1985-93.
- DELEZIE, J.; HANDSCHIN, C. Endocrine Crosstalk Between Skeletal Muscle and the Brain. **Front Neurol**. 2018 Aug 24;9:698.
- DIAMOND, A. Executive functions. **Annual Review of Psychology**. 2013 Jan;64, 135-69.
- DIAMOND, A; LING, D. S Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. **Dev. Cognit. Neurosci**. 2016 Apr;18:34-48.
- DONNELLY, J. *et al.* Physical Activity, Fitness, Cognitive Function, and Academic Achievement in Children: A Systematic Review. **MedSci Sports Exerc**. 2016 Jun;48(6):1197-222.
- DROLLETTE, E. S. *et al.* Maintenance of Cognitive Control during and after Walking in Preadolescent Children. **Medicine & Science In Sports & Exercise**. 2012 Oct;44(10):2017-24.

- DROLLETTE, E. S. *et al.* Acute exercise facilitates brain function and cognition in children who need it most: an ERP study of individual differences in inhibitory control capacity. **Dev Cogn Neurosci.** 2014 Jan;7:53-64.
- EDDOLLS, W. *et al.* High-intensity interval training interventions in children and adolescents: A systematic review. **Sports Medicine.** 2017 Nov;47(11), 2363–2374.
- EICKHOFF, S. B. *et al.* A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. **Neuroimage.** 2005 May 1;25(4):1325-35.
- ENSARI, I. *et al.* Meta-analysis of acute exercise effects on state anxiety: an update of randomized controlled trials over the past 25 years. **Depress Anxiety.** 2015 Aug;32(8):624-34.
- ERICKSON, K.; HILLMAN, C.; KRAMER, A. Physical activity, brain, and cognition. **Current Opinion in Behavioral Sciences.** 2015 Aug;4. 10.1016/j.cobeha.
- ERICKSON, K. *et al.* Physical Activity Guidelines Advisory Committee. Physical Activity, Cognition, and Brain Outcomes: A Review of the 2018 Physical Activity Guidelines. **Med Sci Sports Exerc.** 2019 Jun;51(6):1242-1251.
- ESTEBAN-CORNEJO, I. *et al.* Physical activity and cognition in adolescents: A systematic review. **J Sci Med Sport.** 2015 Sep;18(5):534-9.
- ESTEBAN-CORNEJO, I. *et al.* Physical fitness, hippocampal functional connectivity and academic performance in children with overweight/obesity: The ActiveBrains project. **Brain Behav Immun.** 2021 Jan;91:284-295.
- FAUST, M. W. **Analysis of physiological reactivity in mathematics anxiety** (Unpublished doctoral dissertation, Bowling Green State University, Bowling Green, Ohio, 1992.
- FASSIS, D.; MENDES, A.; CARMO, J. S. Diferentes graus de ansiedade à matemática e desempenho escolar no ensino fundamental. **Psicol. educ.** [online]. 2014, n.39 [citado 2019-11-23], p. 47-61.
- FUENTEMILLA, L. *et al.* Theta-Coupled Periodic Replay in Working Memory. **Current Biology,** v. 20, n. 7, p. 606–612, 13 abr. 2010.
- GATTI, B. A.; BARRETO, E. S. S.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Políticas docentes no Brasil: um estado da arte.** Brasília: UNESCO, 2011.
- GAZZANIGA, M.S. *et al.* **Neurociência cognitiva: a biologia da mente.** Tradução: Angelica Rosat Consiglio *et al.* 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- GORMAN, A. M.; DOYLE, K. M. Considerations and recent advances in neuroscience. **Biochem Soc Trans.** 2009;37(Pt 1):299–302.
- GOMEZ-PINILLA, F.; HILLMAN, C. The influence of exercise on cognitive abilities. **Compr Physiol.** 2013 Jan;3(1):403-28.
- GORDON, B. R. *et al.* The Effects of Resistance Exercise Training on Anxiety: A Meta-Analysis and Meta-Regression Analysis of Randomized Controlled Trials. **Sports Med.** 2017 Dec;47(12):2521-2532.
- GRISSOM J. Physical fitness and academic achievement. **J Exerc Physiol.** 2005;8: 11–25.

- HARTWRIGHT, C. E. *et al.* The Neurocognitive Architecture of Individual Differences in Math Anxiety in Typical Children. **Sci Rep.** 2018 Jul 23;8(1):11302.
- HASLACHER, H. *et al.* Physical exercise counteracts genetic susceptibility to depression. **Neuropsychobiology.** 2015;71(3):168-75.
- HAVE, M. *et al.* Classroom-based physical activity improves children's math achievement - A randomized controlled trial. **PLoS One.** 2018 Dec;13(12):e0208787. Published 2018 Dec 17.
- HEMBREE, R. The nature, effects, and relief of mathematics anxiety. **Journal for Research in Mathematics Education**, 1990, n. 21, p. 33-46.
- HERRING, M. P.; O'CONNOR, P. J.; DISHMAN, R. K. The effect of exercise training on anxiety symptoms among patients: a systematic review. **Arch Intern Med.** 2010 Feb 22;170(4):321-31.
- HILLMAN, C. *et al.* The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. **Neuroscience.** 2009 Mar 31;159(3):1044-54.
- HOPKO, D. R. *et al.* The emotional Stroop paradigm: Performance as a function of stimulus properties and self-reported mathematics anxiety. **Cognitive Therapy and Research.** 2002 Apr; n. 26, p. 157-166.
- HÖTTING, K.; RÖDER, B. Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. **Neurosci Biobehav Rev.** 2013 Nov;37(9 Pt B):2243-57.
- HSIEH, S. *et al.* Systematic review of the acute and chronic effects of high-intensity interval training on executive function across the lifespan. **Journal of Sports Sciences.** 2021 Jan;39(1):10-22.
- HUANG, E. J.; REICHARDT, L. F. Neurotrophins: roles in neuronal development and function. **Annu Rev Neurosci.** 2001;24:677-736.
- HUESTON, C. M.; CRYAN, J. F.; NOLAN, Y. M. Stress and adolescent hippocampal neurogenesis: diet and exercise as cognitive modulators. **Transl Psychiatry.** 2017 Apr 4;7(4):e1081.
- ISNARD, J. *et al.* Does the insula tell our brain that we are in pain? **Pain.** 2011 Apr;152(4):946-951.
- JACOBSON, L.; SAPOLSKY, R. The role of the hippocampus in feedback regulation of the hypothalamic-pituitary-adrenocortical axis. **Endocr Rev.** 1991 May;12(2):118-34.
- JAYAKODY, K.; GUNADASA, S.; HOSKER, C. Exercise for anxiety disorders: systematic review. **Br J Sports Med.** 2014 Feb;48(3):187-96.
- JOAQUIM, A. G. **Treinamento intervalado de alta intensidade e contínuo de moderada intensidade reduzem interleucina-6, mas exercem limitadas mudanças cardiometabólicas em mulheres obesas: estudo randomizado e controlado.** 2019, 140 f. Dissertação (Mestrado em Clínica Médica). Ribeirão Preto: Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, 2019.
- KANDEL, E. *et al.* **Princípios de neurociências.** Tradução: Ana Lúcia Severo Rodrigues... [et al.]; revisão técnica: Carla Dalmaz, Jorge Alberto Quillfeldt. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

KANDOLA, A. *et al.* Aerobic Exercise as a Tool to Improve Hippocampal Plasticity and Function in Humans: Practical Implications for Mental Health Treatment. **Front Hum Neurosci.** 2016 Jul 29; 10:373.

KANDOLA, A. *et al.* Moving to Beat Anxiety: Epidemiology and Therapeutic Issues with Physical Activity for Anxiety. **Curr Psychiatry Rep.** 2018 Jul 24;20(8):63.

KAO, S. C. *et al.* Comparison of the acute effects of high-intensity interval training and continuous aerobic walking on inhibitory control. **Psychophysiology.** 2017 Sep;54(9):1335-1345.

KENNEDY, G. *et al.* How Does Exercise Reduce the Rate of Age-Associated Cognitive Decline? A Review of Potential Mechanisms. **J Alzheimers Dis.** 2017;55(1):1-18.

KHAN, N. A.; HILLMAN, C. H. The relation of childhood physical activity and aerobic fitness to brain function and cognition: a review. **Pediatr Exerc Sci.** 2014 May;26(2):138-46.

KIM, N.; KIM, M. J. Altered Task-Evoked Corticolimbic Responsivity in Generalized Anxiety Disorder. **Int J Mol Sci.** 2021 Mar 31;22(7):3630.

KLADOS, M. A. *et al.* ERP measures of math anxiety: how math anxiety affects working memory and mental calculation tasks? **Front Behav Neurosci.** 2015 Oct 26;9:282.

KNAEPEN, K. *et al.* Neuroplasticity - exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor: a systematic review of experimental studies in human subjects. **Sports Med.** 2010 Sep 1;40(9):765-801.

KRAEMER, W. J.; FLECK, S. J.; DESCHENES, M. R. **Fisiologia do exercício: teoria e prática.** Tradução Ana Cavalcanti Botelho e Dilza Balteiro de Campos. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

KRIBAKARAN, S. *et al.* Meta-analysis of Structural Magnetic Resonance Imaging Studies in Pediatric Posttraumatic Stress Disorder and Comparison With Related Conditions. **Biol Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging.** 2020 Jan;5(1):23-34.

KRONMAN, C. A. *et al.* Cardiorespiratory fitness predicts effective connectivity between the hippocampus and default mode network nodes in young adults. **Hippocampus.** 2020 May;30(5):526-541.

KUCIAN, K. *et al.* Neurostructural correlate of math anxiety in the brain of children. **Transl Psychiatry.** 2018 Dec;8(1):273. Published 2018 Dec 10.

LAMBRICK, D. *et al.* Effects of continuous and intermittent exercise on executive function in children aged 8-10 years. **Psychophysiology.** 2016 Sep;53(9):1335-42.

LAZAROV, O.; HOLLANDS, C. Hippocampal neurogenesis: learning to remember. **Progress in neurobiology,** 2016 Mar-May;138-140, 1-18.

LEE, C. M.; CADIGAN, J. M.; RHEW, I. C. Increases in Loneliness Among Young Adults During the COVID-19 Pandemic and Association With Increases in Mental Health Problems. **J Adolesc Health.** 2020 Nov;67(5):714-717.

LENT, R. **Cem Bilhões de Neurônios?** Conceitos Fundamentais de Neurociência. 2. ed. Atheneu, 2010.

LISTON, C.; MCEWEN, B. S.; CASEY, B. J. Psychosocial stress reversibly disrupts prefrontal processing and attentional control. **Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.** 2009 Jan;106 (3):912-7.

LIU, Y. *et al.* The beneficial effects of physical exercise in the brain and related pathophysiological mechanisms in neurodegenerative diseases. **Lab Invest.** 2019 Jul;99(7):943-957.

LOADES, M. E. *et al.* Rapid Systematic Review: The Impact of Social Isolation and Loneliness on the Mental Health of Children and Adolescents in the Context of COVID-19. **J Am Acad Child Adolesc Psychiatry.** 2020 Nov;59(11):1218-1239.e3.

LUM, J. A.; CONTI-RAMSDEN, G. Long-term memory: A review and meta-analysis of studies of declarative and procedural memory in specific language impairment. **Top Lang Disord.** 2013;33(4):282-297.

MA, C. L. *et al.* Physical exercise induces hippocampal neurogenesis and prevents cognitive decline. **Behav Brain Res.** 2017 Jan 15;317:332-339.

MCEWEN, B. S. Physiology and neurobiology of stress and adaptation: central role of the brain. **Physiol Rev.** 2007 Jul;87(3):873-904.

MADONNA, D. *et al.* Structural and functional neuroimaging studies in generalized anxiety disorder: a systematic review. **Braz. J. Psychiatry.** 2019 Jul-Aug;41(4):336-362.

MALLOY-DINIZ, L. *et al.* **Neuropsicologia das funções executivas e da atenção.** In: Fuentes, Daniel; Malloy-Diniz, Leandro Fernandes; Camargo, Candida Helena Pires; Cosenza, Ramon M. (orgs). *Neuropsicologia - Teoria e Prática* [2ed.]. PORTO ALEGRE: ARTMED, 2014. p.115-138.

MARTIN-SMITH, R. *et al.* High Intensity Interval Training (HIIT) Improves Cardiorespiratory Fitness (CRF) in **Healthy, Overweight and Obese Adolescents**: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Studies. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Apr 24;17(8):2955.

MANDOLESI, L. *et al.* Effects of Physical Exercise on Cognitive Functioning and Wellbeing: Biological and Psychological Benefits. **Front Psychol.** 2018 Apr;9:509. Published 2018 Apr 27.

MCCLURE, E. B. *et al.* Abnormal attention modulation of fear circuit function in pediatric generalized anxiety disorder. **ArchGen Psychiatry.** 2007 Jan;64(1):97-106.

MENDES, A. C. **Identificação de graus de ansiedade à matemática em estudantes do ensino fundamental e médio:** contribuições à validação de uma escala de ansiedade à matemática. Dissertação de mestrado em Psicologia. São Carlos: UFSCar, 2012, 45f.

MENDES, A. C. **Ansiedade à matemática:** evidências de validade de ferramentas de avaliação e intervenção. Tese (Doutorado em Psicologia). São Carlos: UFSCar, 2016, 91f.

MENDES, A. C.; CARMO, J. S. Atribuições Dadas à Matemática e Ansiedade ante a Matemática: o relato de alguns estudantes do ensino fundamental. **Bolema,** Rio Claro, v. 28, n. 50, p. 1368-1385, Dec. 2014.

MILANI, A. C. *et al.* Does pediatric post-traumatic stress disorder alter the brain? Systematic review and meta-analysis of structural and functional magnetic resonance imaging studies. **Psychiatry Clin Neurosci.** 2017 Mar;71(3):154-169.

MIMA, T. Social impact of recent advances in neuroscience. **Brain Nerve.** 2009 Jan;61(1):18-26. Japanese.

- MIYAKE, A. *et al.* The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. **Cognitive Psychology**. 2000 Aug;41(1), 49–100.
- MONK, C. S. *et al.* Amygdala and ventrolateral prefrontal cortex activation to masked angry faces in children and adolescents with generalized anxiety disorder. **Arch Gen Psychiatry**. 2008 May;65(5):568-76.
- MOYLAN, S. *et al.* Exercising the worry away: how inflammation, oxidative and nitrogen stress mediates the beneficial effect of physical activity on anxiety disorder symptoms and behaviours. **Neurosci Biobehav Rev**. 2013 May;37(4):573-84.
- MOON, C. M.; JEONG, G. W. *et al.* Abnormalities in gray and white matter volumes associated with explicit memory dysfunction in patients with generalized anxiety disorder. **Acta Radiol**. 2017 Mar;58(3):353-361.
- MOURÃO JÚNIOR, C. A. *et al.* **Cognitive neuroscience and human development**. seer.fclar.unesp.br., 2017, 7. 9-30. 10.26673/tes.v7i0.9552.
- MOURA-SILVA, M. G.; BENTO-TORRES, J.; GONCALVES, T. O. Bases Neurais da Ansiedade Matemática: implicações para o processo de ensino-aprendizagem. **Bolema**. Rio Claro, v. 34, n. 66, p. 246-267, Apr. 2020.
- MYERS, J.; KOKKINOS, P.; NYELIN, E. Physical Activity, Cardiorespiratory Fitness, and the Metabolic Syndrome. **Nutrients**. 2019 Jul 19;11(7):1652.
- OCDE. **PISA 2015**, Results in Focus. 2015. Disponível em: <https://www.oecd.org/pisa/pisa-2015-results-in-focus>. Acesso em 03 de janeiro de 2021.
- O'REILLY, R. C.; FRANK, M. J. Making working memory work: a computational model of learning in the prefrontal cortex and basal ganglia. **Neural Computing**. 2006 Feb;18(2):283-328.
- ORTEGA, F. B. *et al.* Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. **Int J Obes (Lond)**. 2008 Jan;32(1):1-11.
- OUDEN, L. D. *et al.* The Influence of Aerobic Exercise on Hippocampal Integrity and Function: Preliminary Findings of a Multi-Modal Imaging Analysis. **Brain Plast**. 2018 Dec 26; 4(2): 211-216.
- PEDERSEN, B. K. Physical activity and muscle-brain crosstalk. **Nat Rev Endocrinol**. 2019 Jul;15(7):383-392.
- PERRIER-MELO, R. J. *et al.* High-Intensity Interval Training in Heart Transplant Recipients: A Systematic Review with Meta-Analysis. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**. 2018 Feb;110(2), 188-194.
- PINDUS, D. M. *et al.* Moving fast, thinking fast: The relations of physical activity levels and bouts to neuroelectric indices of inhibitory control in preadolescents. **J Sport Health Sci**. 2019 Jul;8(4):301-314.
- POCH, C. *et al.* Hippocampal Theta-Phase Modulation of Replay Correlates with Configural-Relational Short-Term Memory Performance. **The Journal of Neuroscience**, v. 31, n. 19, p. 7038–7042, 11 maio 2011.

- POLLOCK, M.; FEIGENBAUM, M. S.; BRECHUE, W. **Exercise Prescription for Physical Fitness**. 1995, *Quest*. 47. 320-337.
- PONTIFEX, M. B. *et al.* A primer on investigating the after effects of acute bouts of physical activity on cognition. **Psychol. Sport Exerc.** 2018 Jul;40, 1-22.
- RAICHLIN, D.A.; ALEXANDER, G.E. Adaptive Capacity: An Evolutionary Neuroscience Model Linking Exercise, Cognition, and Brain Health. **Trends Neurosci.** 2017 Jul;40(7):408-421.
- RAMÍREZ-VÉLEZ, R. *et al.* The Effect of 12 Weeks of Different Exercise Training Modalities or Nutritional Guidance on Cardiometabolic Risk Factors, Vascular Parameters, and Physical Fitness in Overweight Adults: Cardiometabolic High-Intensity Interval Training-Resistance Training Randomized Controlled Study. **J Strength Cond Res.** 2020 Aug;34(8):2178-2188.
- REINHOLDT-DUNNE, M. L.; MOGG, K.; BRADLEY, B. P. Effects of anxiety and attention control on processing pictorial and linguistic emotional information. **Behaviour Research and Therapy.** 2009 May; 47(5):410-7.
- RIBAS, G. C.; OLIVEIRA, E. A ínsula e o conceito de bloco cerebral central. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria.** 2007.65(1), 92-100.
- SALTZMAN, L. Y.; HANSEL, T. C.; BORDNICK PS. Loneliness, isolation, and social support factors in post-COVID-19 mental health. **Psychol Trauma.** 2020 Aug;12(S1):S55-S57.
- SIBLEY, B. A.; ETNIER, J.L. The relationship between physical activity and cognition in children: A meta-analysis. **Pediatr ExercSci.** 2003;15: 243-256.
- SILVA, J. B. L. *et al.* Teste Stroop Victoria. *In.: Compêndio de testes neuropsicológicos: atenção, funções executivas e memória.* Organização Annelise Júlio-Costa, Ricardo Moura, Vitor Geraldi Haase. 1. ed. São Paulo: Hogrefe, 2017.
- SILVA, K. S. *et al.* Systematic review of childhood and adolescence sedentary behavior: analysis of the Report Card Brazil 2018. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, 20(4), 415-44.
- SINGH, S. *et al.* Impact of COVID-19 and lockdown on mental health of children and adolescents: A narrative review with recommendations. **Psychiatry Res.** 2020 Nov;293:113429.
- SNECK, S. *et al.* Effects of school-based physical activity on mathematics performance in children: a systematic review. **Int J Behav Nutr Phys Act.** 2019 Nov;16, 109.
- SOLTANLOU, M. *et al.* Math Anxiety in Combination With Low Visuospatial Memory Impairs Math Learning in Children. **Front Psychol.** 2019 Jan;10:89.
- ST CLAIR-THOMPSON, H. L.; GATHERCOLE, S. E. Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. **Q J Exp Psychol (Hove).** 2006 Apr;59(4):745-759.
- STERBERG, R.; STERBERG, K. **Psicologia Cognitiva**. Revisão Técnica. Marcelo Fernandes. Tradução Noveritis do Brasil. 2. ed. São Paulo, SP: Cengage Learning, 2016.
- STEIN, R. High-Intensity Interval Training for Early Post-Acute Myocardial Infarction - A Promising Approach for Rats, but what about Human Beings? **Arquivos Brasileiros de Cardiologia.** 2018 Apr;110(4), 381-382.

- STILLMAN, C. M. *et al.* Cardiorespiratory fitness is associated with enhanced hippocampal functional connectivity in healthy young adults. **Hippocampus**. 2018 Mar;28(3):239-247.
- STONEROCK, G. L. *et al.* Exercise as Treatment for Anxiety: Systematic Review and Analysis. **Ann Behav Med**. 2015 Aug;49(4):542-56.
- STUBBS, B. *et al.* An examination of the anxiolytic effects of exercise for people with anxiety and stress-related disorders: A meta-analysis. **Psychiatry Res**. 2017 Mar 249:102-108.
- STRAWN, J.R. *et al.* Establishing the neurobiologic basis of treatment in children and adolescents with generalized anxiety disorder. **Depress Anxiety**. 2012 Apr;29(4):328-39.
- SUÁREZ-PELLICIONI, M.; NÚÑEZ-PEÑA, M.; COLOMÉ, À. Math anxiety: A review of its cognitive consequences, psychophysiological correlates, and brain bases. **Cogn Affect Behav Neurosci**. 2016 Feb;16(1):3-22.
- SUPEKAR, K. *et al.* Neural predictors of individual differences in response to math tutoring in primary-grade school children. **Proc Natl Acad Sci U S A**. 2013 May 14;110(20):8230-5.
- SUPEKAR, K. *et al.* Remediation of Childhood Math Anxiety and Associated Neural Circuits through Cognitive Tutoring. **J Neurosci**. 2015 Sep 9;35(36):12574-12583.
- SWARTZ, J. R. *et al.* Age-related changes in the structure and function of prefrontal cortex-amygdala circuitry in children and adolescents: a multi-modal imaging approach. **Neuroimage**. 2014a. Feb 1;86:212-20.
- SWARTZ, J. R. *et al.* Dynamic changes in amygdala activation and functional connectivity in children and adolescents with anxiety disorders. **Dev Psychopathol**. 2014b. Nov;26(4 Pt 2):1305-19.
- SWARTZ, J. R.; MONK, C. S. The role of corticolimbic circuitry in the development of anxiety disorders in children and adolescents. **Curr Top Behav Neurosci**. 2014;16:133-48.
- TEIXEIRA, L. C. M. **Exercício físico, neurogênese e memória**. Dissertação de Mestrado em Ciências. Instituto de Biociências. Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 2013, 125 f.
- TOMPOROWSKI, P. D. Effects of acute bouts of exercise on cognition. **Acta Psychologica**. 2003 Mar;112(3), 297-324.
- TOMPOROWSKI, P. D. *et al.* Exercise and Children's Intelligence, Cognition, and Academic Achievement. **Educ Psychol Rev**. 2008 Jun;1;20(2):111-131.
- TOMPOROWSKI, P. D; PESCE, C. Exercise, sports, and performance arts benefit cognition via a common process. **Psychol Bull**. 2019 Sep;145(9):929-951.
- TOTTORI, N. *et al.* Effects of High Intensity Interval Training on Executive Function in Children Aged 8-12 Years. **Int J Environ Res Public Health**. 2019 Nov;16(21):4127.
- UYVAL, N. *et al.* Regular aerobic exercise correlates with reduced anxiety and increased levels of irisin in brain and white adipose tissue. **Neurosci Lett**. 2018 May 29;676:92-97.
- VAN PRAAG, H. Neurogenesis and exercise: past and future directions. **Neuromolecular Med**. 2008 Feb;10(2):128-40.
- VOGELZANGS, N. *et al.* Anxiety disorders and inflammation in a large adult cohort. **Transl Psychiatry**. 2013 Apr 23;3(4).

VOSS, M. W. *et al.* Exercise, brain, and cognition across the life span. **J Appl Physiol** (1985). 2011 Nov;111(5):1505-13.

VOSS, M. W. *et al.* Bridging animal and human models of exercise-induced brain plasticity. **Trends Cogn Sci**. 2013 Oct;17(10):525-44.

WANG, J. X. *et al.* Prefrontal cortex as a meta-reinforcement learning system. **Nat Neurosci**. 2018 Jun;21(6):860-868.

WRANN, C. D. *et al.* Exercise induces hippocampal BDNF through a PGC-1 α /FNDC5 pathway. **Cell Metab**. 2013 Nov 5;18(5):649-59.

WRANN, C. D. FNDC5/irisin - their role in the nervous system and as a mediator for beneficial effects of exercise on the brain. **Brain Plast**. 2015 Oct;1(1):55-61.

YOUNG, C. B.; WU, S. S.; MENON, V. The neurodevelopmental basis of math anxiety. **Psychological Science**, 2012 May;1;23(5):492-501.

YU, F. *et al.* Efficacy and mechanisms of combined aerobic exercise and cognitive training in mild cognitive impairment: study protocol of the ACT trial. **Trials**. 2018 Dec 22;19(1):700.

YÜKSEL, O. *et al.* Regular Aerobic Voluntary Exercise Increased Oxytocin in Female Mice: The Cause of Decreased Anxiety and Increased Empathy-Like Behaviors. **Balkan Med J**. 2019 Aug 22;36(5):257-262.

ZIMMERMANN, N. *et al.* Funções executivas e linguagem na infância: conceitos e relações entre componentes cognitivos para a interpretação neuropsicológica e neuropsicolinguística. *In.: Avaliação de linguagem e funções executivas em crianças*. Organização Rochele Paz Fonseca, Mirella Liberator e Prando, Nicolle Zimmermann. São Paulo: Memnon, 2016.