



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E
MATEMÁTICA
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E CIENTÍFICA**

MARCOS GUILHERME MOURA SILVA

**MANIFESTAÇÕES SUBJACENTES DA ANSIEDADE MATEMÁTICA NO SISTEMA
NERVOSO AUTÔNOMO: uma análise da Variabilidade da Frequência Cardíaca, Desempenho
Matemático e Função Executiva em Crianças Escolares**

**BELÉM-PA
2019**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E
MATEMÁTICA
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E CIENTÍFICA

MARCOS GUILHERME MOURA SILVA

MANIFESTAÇÕES SUBJACENTES DA ANSIEDADE MATEMÁTICA NO SISTEMA
NERVOSO AUTÔNOMO: uma análise da Variabilidade da Frequência Cardíaca, Desempenho
Matemático e Função Executiva em Crianças Escolares

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação em Ciências e Matemáticas, área de concentração Educação Matemática.

Orientador: Prof. Dr. João Bento Torres Neto
Orientador: Prof. Dr. Tadeu Oliver Gonçalves

BELÉM-PA
2019

MARCOS GUILHERME MOURA SILVA

MANIFESTAÇÕES SUBJACENTES DA ANSIEDADE MATEMÁTICA NO SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO: uma análise da Variabilidade da Frequência Cardíaca, Desempenho Matemático e Função Executiva em Crianças Escolares

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação em Ciências e Matemáticas, área de concentração Educação Matemática

Belém, ____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Bento Torres Neto (Orientador)

Prof. Dr. Tadeu Oliver Gonçalves (Orientador)

Prof. Dr. Cristovam Wanderley Picanço Diniz (ICB/UFPA)

Prof. Dr^a Natali Valim Bento Torres (ICS/UFPA)

Prof. Dr. Bruno Duarte Gomes (ICB/UFPA)

Prof. Dr. Iran Abreu Mendes (IEMCI/UFPA)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E CIENTÍFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E
MATEMÁTICAS

ATA DE DEFESA DE TESE DOUTORAL

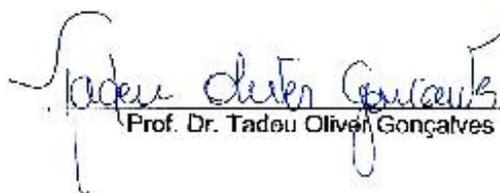
Aos onze dias do mês de março de dois mil e dezanove, às nove horas, reuniu-se a Banca Examinadora aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemáticas, composta pelos doutores: João Bento Torres Neto e Tadeu Oliver Gonçalves (orientadores), Iran Abreu Mendes (Membro Interno), Cristovam Wanderley Picanço Diniz (Membro Externo – ICB/UFPA), Bruno Duarte Gomes (Membro Externo – ICB/UFPA) e Natali Valim Oliver Benlo Torres (membro externo – UFPA/ICS). Sob a presidência dos orientadores, primeiro procederam ao Exame de defesa doutoral do doutorando **MARCOS GUILHERME MOURA SILVA** que apresentou o trabalho intitulado **"MECANISMOS SUBJACENTES DA ANSIEDADE MATEMÁTICA NO SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO: uma análise da variabilidade da frequência cardíaca em crianças escolares"**. Após a apresentação, os membros da banca avaliadora fizeram perguntas sobre a pesquisa desenvolvida e teceram os seguintes comentários sobre o trabalho defendido pelo doutorando, sobre o qual emitiram o seguinte parecer:

O Trabalho se configura como um relatório de pesquisa em Educação Matemática que constitui todos os elementos caracterizadores em um texto doutoral. A pesquisa realizada se diferenciou das pesquisas desenvolvidas no PPGECM uma vez que utilizou-se dos conhecimentos da neurociência ao examinar a associação e diferença da VFC (Variedade da Frequência Cardíaca) com ansiedade matemática em crianças escolares, confirmando a hipótese inicialmente levantada de que as dinâmicas da VFC se diferenciariam entre crianças com baixa e alta ansiedade matemática. Além disso, encontrou que o controle inibitório media efeitos preditores entre ansiedade matemática e desempenho matemático. A pesquisa apresenta resultados importantes e inéditos acerca da temática abordada, com contribuições para o campo da aprendizagem matemática e implicações para a prática e formação de Professores que ensinam matemática. Propõe para a área de educação matemática uma perspectiva investigativa que integre aspectos comportamentais, cognitivos e fisiológicos. A banca avaliou que a pesquisa desenvolvida deve ser publicada na sua íntegra em formato de livro ou capítulo de livro, bem como na forma de artigo, uma vez que a mesma apresentou um diálogo produtivo entre as áreas de neurociência e educação matemática trazendo contribuições para o processo de ensino-aprendizagem matemático das crianças, possibilitando novas investigações.

Assim, o candidato é considerado **APROVADO** neste Exame de Defesa de Tese Autoral.

Em caso de aprovação, considerar que: sendo cumpridas as exigências regimentais, no prazo de até 60 (sessenta) dias, o Colegiado do Programa homologará a Tese e concederá o título de **Doutor em Educação em Ciências e Matemáticas**, na área de concentração de **Educação Matemática**. E, para constar, a presente ata foi lida e assinada por todos os membros da Banca Examinadora.

Belém, 11 de Março de 2019.


Prof. Dr. Tadeu Oliver Gonçalves


Prof. Dr. João Bento Torres Neto


Prof. Dr. Cristovam Wanderley Picanço Diniz


Prof. Dr. Iran Abreu Mendes


Prof.ª Dr.ª Natali Valim Oliver Bento Torres


Prof. Dr. Bruno Duarte Gomes

À minha família, por me fazerem experienciar o valor das emoções como sentido da vida.

“Podemos julgar nosso progresso pela coragem dos nossos questionamentos e pela profundidade de nossas respostas, nossa vontade de abraçar o que é verdadeiro ao invés daquilo que nos faz sentir bem.”

- Carl Sagan -

AGRADECIMENTOS

Este agradecimento é muito mais do que uma formalidade ou um gesto de polidez, é uma tentativa de homenagear pessoas que talvez nem imaginem o papel e a importância que tiveram ao longo do processo de minha constituição doutoral.

Há sete anos atrás, um jovem graduando, assustado diante do mundo da pós-graduação, teve um encontro com uma das pessoas mais incríveis que ele conhecera. Professor Tadeu, obrigado pelos anos de convívio, por ser esse entusiasta do novo, por me desafiar e mostrar a importância de ser desafiado. Levo comigo o entendimento que são os desafios que nos transformam. Se estamos confortáveis com o que estamos fazendo, então não estamos nos desafiando o suficiente. Você me permitiu liberdade e criatividade intelectual que foram determinantes durante minha trajetória pela pós-graduação e certamente continuará sendo, em minha missão como professor pesquisador. Minha eterna gratidão!

Minhas especiais saudações ao meu também orientador, João Bento, com quem tive a grata satisfação de dividir momentos de extremo aprendizado. Seu entusiasmo pela ciência é, no mínimo, contagiante! Reconheço que não chegaria a metade de onde cheguei, se não fossem os seus direcionamentos, conselhos e cuidados aquele projeto que ora se concretiza em resultados. Obrigado por ter disposto de tempo e audição mesmo durante o seu estágio pós-doutoral. Estou ansioso pelas nossas muitas colaborações no futuro!

À minha família, pessoalizada em minha mãe, meu pai, meus irmãos e minha filha, pelo carinho e suporte que fizeram a caminhada até aqui ser bem menos complexa e extenuante. Vocês são meu porto seguro!

À equipe EXAM, com quem pude dividir angústias, solucionar dúvidas e compartilhar conhecimentos. Um agradecimento especial ao Felipe Barradas, a quem desejo toda sorte! Sua importância na concretização dessa pesquisa foram vitais desde quando estávamos na árdua missão de constituir dados à intensa maratona de análise. Agradeço ainda ao Mauro Domingues pelo importante apoio oferecido nas fases desse estudo e com quem pude dialogar rotineiramente.

Um agradecimento especial a Escola de Aplicação da UFPA, nas pessoas dos professores Walter, Gisele e Nazaré que mediaram nossos contatos com as crianças; agradeço ainda aos terceirizados, pelo apoio oferecido desde a limpeza à instalação de equipamentos e mudança de

voltagem elétrica. Atitudes que até poderiam ser tomadas como irrelevantes, se não tivessem sido fundamentais.

Ao grupo Formação de professores de Ciências e Matemática, em Castanhal, na pessoa do querido professor João Malheiro, que foi uma de minhas bases para chegar até aqui.

A todos os professores e colegas encontrados pelo Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemática, que dividiram conhecimento e engrandeceram ainda mais essa fantástica experiência formativa.

Agradeço as nossas crianças, cujas participações permitiram a construção dessa tese. Que os resultados aqui alcançados não virem letra morta, mas que possam se constituir em ações de transformação para cada uma delas.

Uma vez mais, agradeço à Ele, por cuidar de mim todos os dias e mudar a minha história!

RESUMO

Ansiedade Matemática (AM) é uma das interferências emocionais mais estudadas no processo de raciocínio matemático, podendo associar-se à déficits no controle inibitório, comprometendo o desempenho durante a infância. Investigar as manifestações fisiológicas da AM no início da escolaridade formal, poderá contribuir com sua identificação e estratégias de intervenção por parte de professores/pesquisadores, possibilitando seu gerenciamento em contextos escolares e não escolares. Nós investigamos a Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) como um parâmetro fisiológico associado ao nível de Ansiedade Matemática em crianças, enquanto submetidas as condições de repouso, teste de desempenho matemático e teste de controle inibitório, analisando seus desempenhos matemáticos e função executiva. O estudo foi conduzido com 99 crianças de ambos os sexos, com idades entre 9 e 12 anos, classificadas quanto ao nível de Ansiedade Matemática com controle estatístico para ansiedade geral. Identificamos pela primeira vez uma associação dos resultados não lineares da VFC com o nível de Ansiedade Matemática em crianças. No momento que respondiam as tarefas matemáticas, crianças com maior AM apresentaram redução do tônus vagal cardíaco e reduções significativas na entropia aproximada (ApEn) e Entropia de Amostra (SampEn) - medidas não lineares que mensuram a regularidade e a complexidade da VFC. Essas relações não foram associadas para ansiedade geral, indicando se tratar de um evento moderado pela Ansiedade Matemática. Nossos achados sugerem que crianças com alta AM podem ter uma resposta na condição de stress associada a redução da complexidade na VFC, apresentando padrões que podem contribuir com sua caracterização a partir do sistema nervoso autônomo. Além disso, os modelos de mediação indicaram uma relação recíproca entre Ansiedade Matemática e Desempenho Matemático em crianças, quando mediado pelo controle inibitório. Nossa pesquisa se une aos esforços que vem sendo empreendidos na área da Educação Matemática, principalmente aqueles relacionados ao estudo dos aspectos emocionais e cognitivos e seus impactos na aprendizagem. Incentivamos a área a implementar uma perspectiva sistêmica de investigação e análise que integre aspectos comportamentais, cognitivos e fisiológicos.

Palavras-Chave: Ansiedade Matemática, Variabilidade da Frequência Cardíaca, Desempenho Matemático, Controle Inibitório, Sistema Nervoso autônomo.

ABSTRACT

Mathematical anxiety (AM) is one of the most studied emotional interferences in the mathematical reasoning process, being able to be associated to the deficits in the inhibitory control, compromising the performance during childhood. Investigating the physiological mechanisms of MA at the beginning of formal schooling may contribute to their identification and intervention strategies by teachers / researchers, enabling their management in school and non-school contexts. We investigated the HRV as a physiological parameter associated with the level of Mathematical Anxiety in children, while undergoing conditions of rest, mathematical performance test and inhibitory control test, analyzing their mathematical performances and executive functions. The study was conducted with 99 children of both sexes, aged 9 to 12 years, classified for Mathematical Anxiety and controlled for general anxiety. We identified for the first time an association of HRV non-linear results with the level of Mathematical Anxiety in children. At the moment that the mathematical tasks responded, children with greater AM presented reduction of vagal tone and significant reductions in approximate entropy (ApEn) and Sample Entropy (SampEn) - nonlinear measures that measure the regularity and complexity of systems. These relationships were not associated with general anxiety, indicating if it is an event moderated by Mathematical Anxiety. Our findings suggest that children with high AM may have a stress response associated with reduced HRV complexity, presenting patterns that may contribute to their characterization from the autonomic nervous system. In addition, the mediation models indicated a reciprocal relationship between Mathematical Anxiety and Mathematical Performance in children, when mediated by inhibitory control. Our research joins the efforts that have been undertaken in the area of Mathematics Education, especially those related to the study of emotional and cognitive aspects and their impacts on learning. We encourage the area to implement a systemic perspective of research and analysis that integrates behavioral, cognitive and physiological aspects.

Key Words: Mathematical Anxiety, Heart Rate Variability, Mathematical Performance, Inhibitory Control, Autonomic Nervous System.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

HMA	(High Math Anxiety) - Alta Ansiedade Matemática
HF	(High Frequency) - Alta Frequência-
AM	Ansiedade Matemática
DFA	(Detrended Fluctuation Analysis) - Análise de Flutuação Retificada
ApEn	Entropia Aproximada
LMA	(Low Math Anxiety) - Baixa Ansiedade Matemática
LF	(Low Frequency) - Baixa Frequência
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CNS	Conselho Nacional de Saúde
MCC	Córtex Médio-Cingulado
DLPFC	(Dorsolateral Prefrontal Cortex) - Córtex Pré-Frontal Dorsolateral
DMN	(Default Mode Network) - Rede de Modo Padrão
EEG	Eletroencefalograma
MARS-E	Escala de Ansiedade Matemática Elementar
RCMAS	(Revised Childrens Manifest Anxiety Scale) - Escala Revisada de Ansiedade
ETCC	Estimulação Transcraniana de Corrente Contínua
FC	Frequência Cardíaca
VLF	(Very Low Frequency)- Frequência Muito Baixa-
ULF	(Ultra Low Frequency) - Frequência Ultrabaixa
fMRI	(Functional Magnetic Resonance Image)- Imagem por Ressonância Magnética
INSP	Ínsula Dorso-Posterior
MT	Memória de Trabalho
ERN	Negatividade de Erro Relacionado
PNN50	Porcentagem NN50
PER	Potenciais de Eventos Relacionados-
RMSSD	Desvio Padrão das Médias Quadradas
SampEn	Entropia de Amostra
SDNN	Desvio padrão dos intervalos do intervalo
SNA	Sistema Nervoso Autônomo
SPSS	(Statistical Package for the Social Sciences)- Pacote Estatístico para as Ciências Sociais
TR	Tempo de Reação
PET	(Processing Efficiency of Theory) - Teoria da Eficiência de processamento
ACT	(Attention Control of Theory) Teoria do Controle Atencional
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TDM	Teste de Desempenho Matemático
PEBL	(Psychology Experiment Building Language) - Linguagem de Construção de Experiências Psicológicas
VFC	Variabilidade da Frequência Cardíaca

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Relação recíproca entre AM e Desempenho Matemático-	22
Figura 2- Os multicomponentes da memória de trabalho, conforme revisado por Baddeley	26
Figura 3- Semelhanças na relação entre desempenho e atividades cerebrais considerando grupos com alta e baixa Ansiedade Matemática para questões aritméticas simples.	29
Figura 4- Diferenças na relação entre desempenho e atividades cerebrais considerando grupos com alta e baixa Ansiedade Matemática para questões aritméticas complexas.	30
Figura 5- Distintos acionamentos cerebrais para a Ansiedade Matemática	34
Figura 6- Relação entre as atividades em regiões associadas a detecção de ameaça visceral (envolvendo, frequentemente a experiência da própria dor) e o nível de ansiedade Matemática dos participantes	36
Figura 7- Áreas cerebrais conforme grupo de alta e baixa ansiedade matemática.....	38
Figura 8- Fluxograma de seleção de estudos PRISMA.....	41
Figura 9- Variabilidade da Frequência Cardíaca.	50
Figura 10- Modelo de integração neurovisceral.	55
Figura 11- Diagrama das vias aferentes pelas quais informações do coração e do sistema cardiovascular modulam a atividade cerebral	56
Figura 12- Distribuição dos grupos considerando os anos escolares.	62
Figura 13- Desenho Experimental.....	63
Figura 14- Reprodução das telas apresentadas aos participantes mostrando algumas das diferentes questões que compuseram o Teste de Desempenho Matemático	67
Figura 15- Ensaios Congruentes e Incongruentes no Flanker Test	68
Figura 16- Aquisição e processamento dos dados da VFC.	70
Figura 17- Gráfico de Mediação.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Interpretação de resultados do MARS-E, segundo uma escala de percentil	65
Tabela 2- Teste t de amostras independentes para diferenças no desempenho matemático e controle inibitório em relação à Ansiedade Matemática.	72
Tabela 3- Diferenças dos parâmetros VFC entre os grupos LMA e HMA, nas três condições experimentais.....	74
Tabela 4- Correlações de Pearson entre resultados não lineares da VFC com o nível de ansiedade	75
Tabela 5- Modelos de Mediação entre as variáveis de controle inibitório, Ansiedade Matemática e desempenho matemático-	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Escala de Qualidade PEDro (Português-Brasil)	40
Quadro 2- Literatura Neurocientífica sobre os correlatos Neurais da Ansiedade Matemática. .	48
Quadro 3- Medidas Lineares e não Lineares da VFC	58
Quadro 4- Exemplo de questões da Escala MARS-E.	64

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	18
1. SOBRE A ANSIEDADE MATEMÁTICA E SUAS IMPLICAÇÕES.....	21
1.1. O que é Ansiedade Matemática?.....	21
1.2. Preditores da Ansiedade Matemática.....	22
1.2.1. Sexo.....	23
1.2.2. Idade.....	24
1.3. Ansiedade Matemática e desempenho matemático.....	27
1.3.1. A relação entre AM e Desempenho, considerando o nível de complexidade da tarefa.....	28
1.3.2. A relação entre AM e Desempenho, considerando a competição por recursos na Memória de Trabalho.....	30
1.3.3. A relação entre AM e Desempenho, considerando o déficit de inibição/controlado atencional.....	32
1.4. Redes neurais da Ansiedade Matemática.....	34
1.5. Variabilidade da Frequência Cardíaca.....	50
1.6. VFC e o modelo de integração neurovisceral.....	54
1.7. VFC e suas métricas.....	57
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	61
2.1. Classificação quanto a abordagem de pesquisa.....	61
2.2. Caracterização dos participantes.....	61
2.3. Delineamento do estudo.....	62
2.4. Procedimentos específicos.....	63
2.4.1. Classificação quanto a Ansiedade Matemática.....	63
2.4.2. Sessão Experimental.....	65
2.4.3. Teste de Desempenho Matemático.....	66
2.4.4. Teste de Avaliação do Controle Inibitório: <i>Flanker Test</i>	68
2.6. Análise estatística.....	70
3. RESULTADOS.....	72
3.1. Ansiedade Matemática e suas associações e diferenças com fatores demográficos, desempenho matemático e controle inibitório.....	72
3.2. Ansiedade Matemática e sua associação com a VFC.....	73
3.2.1. Diferença entre os grupos HMA e LMA em relação a VFC.....	73

3.2.2. Correlação dos índices VFC com Ansiedade Matemática	74
3.2.3. Efeito da Ansiedade Matemática e ansiedade geral sobre a VFC	75
3.3. Análise de Regressões	76
4. DISCUSSÃO	79
4.1. Os mecanismos fisiológicos da VFC nas crianças HMA e a relação com o desempenho no momento da tarefa	81
4.2. Modelos de mediação entre Ansiedade Matemática, desempenho matemático e controle inibitório	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
Apêndice A- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	103
Apêndice B- Ficha de Avaliação Geral	105
Apêndice C- Ficha de Avaliação do Protocolo- EXAM	107
Apêndice D: Equações do Teste de Desempenho Matemático	110
ANEXO A- Parecer de Aprovação do Conselho de Ética em Pesquisa.....	111

INTRODUÇÃO

Estima-se que uma parcela significativa da população experimente medo e apreensão quando confrontada com problemas numéricos (HEMBREE, 1990; ASHCRAFT, 2002; HLALELE, 2012, MUTODI & NGIRANDE, 2014, JANSEN et al., 2016). O relatório apresentado pelo Programa Internacional de Avaliação de Estudantes- PISA, produzido a partir de dados envolvendo mais de 70 países, incluindo o Brasil, trouxe informações alarmantes: quase 60% dos estudantes relataram preocupações relativas as aulas da matemática e 30% disseram se sentir impotentes ao fazerem um problema matemático (OECD, 2016). Especificamente no Brasil, o cenário é ainda mais crítico, pois o percentual de alunos que relataram ansiedade e baixa autoconfiança perante a matemática salta para mais de 70%; índice que se associa ao baixo desempenho na disciplina em avaliações de larga escala e que colocam o país nos últimos lugares de proficiência matemática (OECD, 2016).

Esses resultados nos levam a compreensão que a proficiência em matemática não advém isoladamente de competências cognitivas, mas é igualmente influenciada por fatores e atitudes emocionais (DOWKER, BENNETT e SMITH, 2012; MALONEY e BEILOCK, 2012). Nesse contexto, a Ansiedade Matemática (doravante, AM) se elenca como uma das interferências emocionais mais estudadas no processo de raciocínio matemático, com consequências cognitivas e comportamentais amplamente discutidas (PEKRUN et al., 2017; HO et al., 2000; VAN DER BEEK et al., 2017).

Evidências estabelecem paralelos entre a Ansiedade Matemática e outros tipos de ansiedade, validando-a como um tipo genuíno de tensão, gerada a partir de situações específicas. Indicam também, que a Ansiedade Matemática tem seu início de desenvolvimento ainda na infância, durante a escolaridade formal, e se mostra prevalente na adolescência e na vida adulta (KRINZINGER et al., 2009 ; RAMIREZ et al., 2013 ; THOMAS e DOWKER, 2000 ; WU et al., 2012). Pessoas com alta AM tendem a evitar cursos que enfatizam a matemática, tanto durante sua educação básica quanto em carreiras acadêmicas e profissionais (HEMBREE, 1990; ASHCRAFT 2002; CHIPMAN et al., 1992; BROWN et al., 2008), podendo gerar impactos em áreas estratégicas de desenvolvimento nacional, como ciência e tecnologia, dada suas relações íntimas com a matemática.

O advento da Neurociência e sua evolução ao longo da última década, ampliaram as compreensões acerca do funcionamento cerebral em indivíduos com Ansiedade Matemática, trazendo aprendizados importantes sobre seus mecanismos fisiológicos subjacentes. O uso de tecnologias de neuroimagem revelaram alteração da estrutura cerebral em circuitos emocionais negativos de crianças (KUCIAN et al., 2018) e identificaram respostas neurais específicas, antes e durante a resolução de problemas matemáticos, como ativação de redes relacionados à dor e ao medo (LYONS E BEILOCK, 2012, YOUNG et al., 2012). Métodos como Eletroencefalograma (EEG) e Potenciais Relacionados a Eventos- PER, identificaram amplitudes em componentes e bandas que foram capazes de monitorar regiões cerebrais envolvidas no processamento de controle cognitivo, durante a conclusão de tarefas com estímulos aversivos, associando essas atividades a eficiência de processamento e déficits de desempenho. Em suma, medidas psicofisiológicas possibilitaram perscrutar os distintos processos cognitivos e emocionais envolvidos na AM, dando conta de suas consequências deletérias sobre o desempenho matemático e o comprometimento de funções executivas que são críticas para o processo de aprendizagem, como o controle atencional (ASHCRAFT e KIRK, 2001; SUÁREZ-PELLICIONI et al., 2014).

Menos conhecido, entretanto, são os mecanismos subjacentes da Ansiedade Matemática no Sistema Nervoso Autônomo- SNA, particularmente aqueles relacionados à Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) que reflete um dos principais marcadores extrínsecos do SNA (CONTRERAS et al., 2007; TSUJI et al., 1996). A VFC se integra, ainda, ao Sistema Nervoso Central- SNC e vem sendo utilizada na análise de funções cognitivas e transtornos mentais, incluindo ansiedade e depressão (DIMITRIEV et al., 2016). No entanto, até onde sabemos, não foram publicados estudos examinando a associação da VFC com Ansiedade Matemática em nenhuma faixa etária do desenvolvimento humano.

Assim sendo, delineamos como questão de pesquisa: Quais as manifestações subjacentes da Ansiedade Matemática no Sistema Nervoso Autônomo, a partir da Variabilidade da Frequência Cardíaca? Para responde-la, nosso objetivo geral consistiu em examinar a relação da VFC com a Ansiedade Matemática em crianças escolares, demarcando como hipótese que as dinâmicas da VFC iriam diferir entre crianças com baixa e alta Ansiedade Matemática.

Como objetivos específicos, propomo-nos, ainda:

- Analisar possíveis associações entre Ansiedade Matemática, variabilidade da frequência cardíaca, desempenho matemático e controle inibitório;
- Analisar possíveis diferenças entre Ansiedade Matemática, variabilidade da frequência cardíaca, desempenho matemático e controle inibitório;
- Verificar se a Ansiedade Matemática independentemente da Ansiedade Geral moderou efeitos sobre a VFC;
- Analisar se modelos estatísticos de mediação podem estar condizentes com os diferentes modelos que explicam a Ansiedade Matemática em sua relação com o desempenho matemático;

Porquê a Ansiedade Matemática pode interferir na vida acadêmica e cotidiana, torna-se imperativo investigar seus mecanismos subjacentes que venham contribuir na sua caracterização desde a infância, cooperando com estratégias de intervenção por parte de professores/pesquisadores. Sobretudo, almeja-se, com esse estudo, fornecer indícios que orientem práticas pedagógicas dos professores em sala de aula, com um modelo de pesquisa que possibilite a mensuração de parâmetros fisiológicos associados a cognição e emoção, a partir de instrumento não invasivo e de relativo baixo custo comercial, abrindo caminhos no gerenciamento da Ansiedade Matemática nos contextos escolares.

O estudo está estruturado em quatro seções principais: na seção 1, conceituamos Ansiedade Matemática, discutimos seus principais preditores e analisamos suas implicações cognitivas, incluindo as redes neurais impactadas por ela. Ao final, delineamos compreensões gerais sobre a Variabilidade da Frequência Cardíaca, a importância do tônus vagal na análise da VFC, seu papel integrador com o cérebro (THAYER e LANE, 2000, MCCRATY et al., 2009) e sua importância na proposição desse estudo.

Na seção 2, apresentamos nossos fundamentos teórico-metodológicos, caracterizando nossos participantes, descrevendo nossos procedimentos e instrumentos, discutindo, ainda, a metodologia de análise de dados a partir dos principais testes estatísticos utilizados. Na seção 3 apresentamos os resultados em resposta aos objetivos delineados e na seção 4 realizamos nossa discussão, estabelecendo direções para estudos futuros e destacando implicações para a área de Educação Matemática.

1. SOBRE A ANSIEDADE MATEMÁTICA E SUAS IMPLICAÇÕES

1.1.O que é Ansiedade Matemática?

A Ansiedade Matemática corresponde a um fenômeno global e altamente prevalente, definida como uma “sensação de tensão e ansiedade que interfere na manipulação dos números e na resolução de problemas relacionados a uma grande variedade de situações da vida ordinária e acadêmica” (RICHARDSON e SUINN, 1972, p.551). Suas consequências deletérias sobre o desenvolvimento de habilidades matemáticas são bem replicadas. Do que conhecemos, ela possui indícios de marcadores fisiológicos: por exemplo, ativação de áreas cerebrais relacionadas à percepção de dor (LYONS e BEILock, 2012a); marcadores cognitivos: como déficits no controle inibitório e na memória de trabalho durante tarefas matemáticas simples e complexas (SUARÉZ PELLICIONI et al., 2014; ASHCRAFT e KIRK, 2001; ASHCRAFT e RIDLEY, 2005); marcadores comportamentais: como a evitação de carreiras que enfatizem habilidades numéricas por conta de pobre desempenho (HEMBREE, 1990; BROWN et al., 2008) ou na tomada de decisões envolvendo itens de consumo (JONES et al., 2012).

Altos níveis de ansiedade têm sido associados a consequências educacionais negativas, incluindo fraco desempenho acadêmico, abandono escolar precoce e fracasso no ensino superior (OWENS et al., 2012). Quando comparados com seus pares menos ansiosos, alunos com alta AM têm baixas percepções de suas habilidades matemáticas, costumam apreciar menos a disciplina e não veem o valor dela na vida cotidiana (ASHCRAFT e MOORE, 2009; HEMBREE, 1990).

AM tem sido associada a Ansiedade Geral e Ansiedade ao Teste, mas em níveis moderados ($r = 0,35$ e $0,52$, respectivamente), o que vem sugerir se tratar de manifestações independentes, caracterizadas por etiologias diferentes (HEMBREE, 1990; CAREY, 2017). Enquanto a AM corresponde ao estado ansioso frente a situações envolvendo matemática, a ansiedade geral se refere a tendência individual relativamente estável, que faz o indivíduo julgar ampla gama de eventos ambientais como potencialmente ameaçadores (WIEDEMANN, 2015). O estudo de Wang et al. (2014) explorou essa etiologia e a associação entre Ansiedade Matemática e Ansiedade Geral em gêmeos norte-americanos de 12 anos de idade. Fatores genéticos foram responsáveis moderadamente pela AM, sendo o restante explicado por fatores ambientais específicos da criança, incluindo experiências relacionadas à Ansiedade Geral. O estudo postula que as causas de ambas as ansiedades são parcialmente independentes, tratando-se, portanto, de eventos distintos; ou seja,

a Ansiedade Matemática existe entre muitas pessoas que normalmente não sofrem de outras ansiedades ou transtornos de ansiedade.

1.2. Preditores da Ansiedade Matemática

Embora não esteja totalmente compreendida as causas da Ansiedade Matemática, alguns fatores foram prenunciados, permitindo seu estudo etiológico. Fatores individuais e ambientais, dentre eles, o gênero, a idade e a influência de experiências negativas promovidas por pais e professores, foram estudados ao longo do tempo como possíveis preditores da Ansiedade Matemática. Carmo e Simionato (2011), percebendo a AM como um fenômeno comportamental, sugerem que é a interação entre três diferentes histórias: filogênese, ontogênese e cultura que contribuem para a determinação dessa aversão à matemática. A figura 1 a seguir (CHANG e BEILOCK, 2016) elucida esse estudo etiológico no contexto desses e de outros vários fatores desenvolvimentais e educacionais, evidenciando uma interferência negativa recíproca entre AM e Desempenho Matemático.

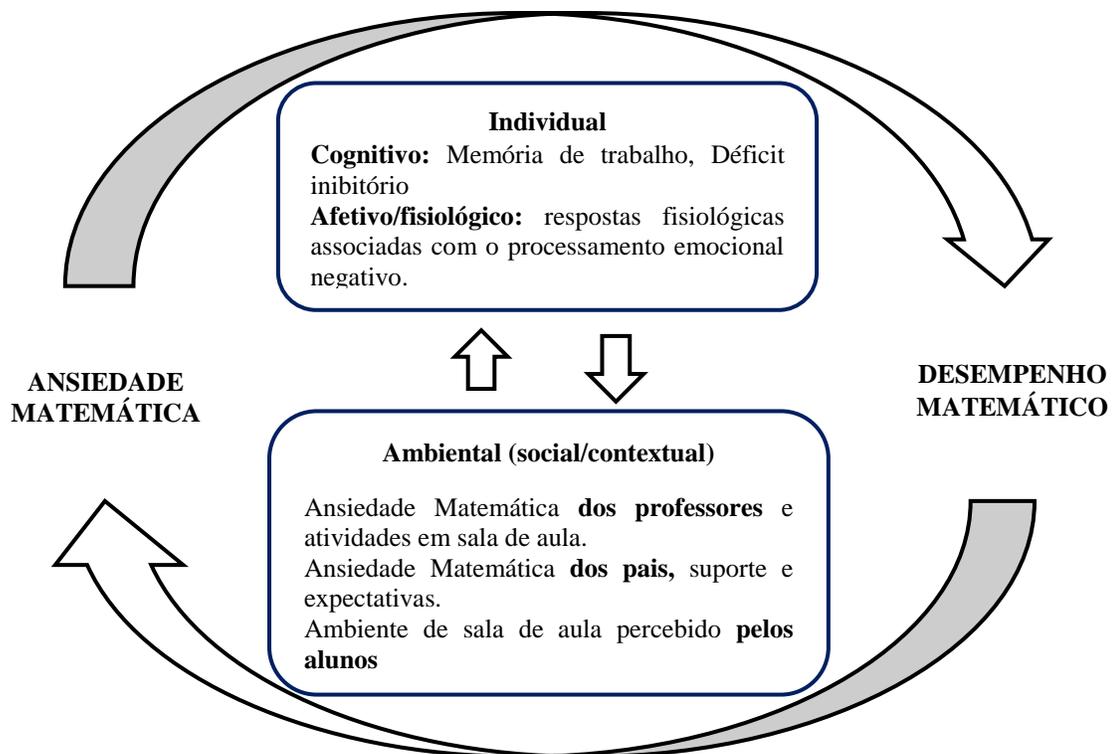


Figura 1- Relação recíproca entre AM e Desempenho Matemático- Os distintos fatores individuais e ambientais são responsáveis pela relação recíproca entre Ansiedade Matemática e o desempenho em matemática. (traduzido de CHANG e BEILOCK, 2016)

Na relação entre o indivíduo e o desempenho, a AM funciona como um proxy¹, que leva normalmente a má realização matemática. Causas individuais de ordem cognitiva experienciadas pelo próprio sujeito, como déficits na Memória de Trabalho e na Atenção ou suas próprias respostas fisiológicas, contribuem para esse cenário; aspectos motivacionais como auto eficácia e atitude para com a matemática, também se configuram válidas e serão melhor exploradas nas seções posteriores. Fatores ambientais como componentes aversivos produzidos em contextos escolares são igualmente influenciadores, tratando-se, portanto, de um fenômeno multideterminado. Abaixo, discutiremos brevemente sobre algumas das causas mais estudadas e de interesse para esse estudo, como o sexo e a idade.

1.2.1. Sexo

Evidências das relações entre sexo e AM foram discutidas extensivamente, mostrando resultados pouco consistentes. Embora exista uma variedade de estudos que encontraram maior incidência de Ansiedade Matemática em mulheres quando comparadas aos homens (WIGFIELD e MEECE, 1988; WOODART, 2004; YÜKSEL-ŞAHİN, 2008, DEVINE et al., 2012), há estudos que não mostraram diferenças entre os sexos (TAPIA, 2004; MA e XU, 2008; BIRGIN, BALOĞLU e GÜRBÜZ, 2010), e outros, por sua vez, que encontraram maior incidência de Ansiedade Matemática em homens em relação as mulheres (SANDMAN, 1979; ABED e ALKHATEEB, 2001).

Dentre as razões que explicam porque mulheres podem vir apresentar maior Ansiedade Matemática que os homens, evidencia-se a “hipótese da socialização do papel sexual” (BANDER E BETZ, 1981), argumentando que a forma como meninos e meninas são socializados durante a infância determina a ansiedade experimentada por homens e mulheres em situações futuras. Nesse caso, uma vez que a matemática é vista tradicionalmente como um domínio masculino, as mulheres podem ser socializadas a pensar em si mesmas como matematicamente incompetentes, evitando a disciplina, e, quando inseridas em atividades matemáticas, podem sentir mais ansiedade que homens. Pesquisa posterior aponta que em países que oferecem uma educação igual à ambos os sexos, as diferenças no desempenho matemático se mostraram insignificantes (SPELKE, 2005).

Fatores como confiança, autoconceito (isto é, a autoavaliação da capacidade) e auto eficácia em relação a matemática, também são variáveis que podem explicar a distinção de sexo na AM.

¹ No sentido de intermediar um em relação ao outro.

Por exemplo, meninos relataram maior confiança e auto eficácia em fazer matemática ante as meninas, influenciando o comportamento de evitação ou engajamento em tarefas de matemáticas. (WIGFIELD et al., 1991; FENNEMA, 1976; KVEDERE, 2014, VAN DER BEEK et al., 2017).

Concorrente a isso, a instrução em sala de aula e as estratégias de *feedback* por parte dos professores, ajudam a moldar o autoconceito dos alunos (VAN DER BEEK et al., 2017). A esse respeito, os achados de Beilock et al. (2010) forneceram evidências de que professores do sexo feminino com Ansiedade Matemática influenciam negativamente na conquista matemática das meninas (mas não dos meninos), mediando a crença de que o sexo masculino é melhor na disciplina do que o sexo feminino. Esses resultados são ancorados pela Teoria da Aprendizagem Social, indicando que crianças são mais propensas a imitar o comportamento e as atitudes de adultos do mesmo sexo *versus* adultos de sexo oposto (ver BUSSEY e BANDURA, 1984; PERRY e BUSSEY, 1979; BEILOCK et al., 2010).

Algumas abordagens consideraram a diferença entre os sexos na AM a partir da memória de trabalho (uma vez que esta é uma função cognitiva comumente impactada pela Ansiedade Matemática). Contudo, ainda se carece de maiores investigações advindas dessa relação, pois enquanto Robert e Savoie (2007) não perceberam diferenças, os estudos de Ganley e Vasilyeva (2014) sugerem diferença significativa entre os sexos no desempenho matemático, na ansiedade e na memória de trabalho viso espacial com efeito proeminente nas mulheres.

1.2.2. Idade

Evidências indicam que a Ansiedade Matemática é desenvolvida na infância, durante a escolaridade formal, mantendo-se prevalente durante a vida adulta (HEMBREE, 1990; BALOGLU e KOÇAK, 2006). O estudo conduzido por Harari et al., (2013), indicou que a Ansiedade Matemática pode ser detectável desde a primeiro ano do ensino fundamental, identificando a preocupação, a reação negativa para com a disciplina e a confiança numérica como as dimensões proeminentes da natureza da Ansiedade Matemática em crianças.

O estudo de Young (2012), que será melhor estudado na sessão 1.4, mostrou que redes cerebrais envolvidas com o medo são ativadas em crianças que apresentaram Ansiedade Matemática. Outras evidências mostraram que as atitudes negativas em relação a disciplina mudam com a idade, correlacionando-se positivamente com o aumento da AM e conseqüentemente com o desempenho (por exemplo, MA e KISHOR, 1997; MATA et al., 2012).

Dentre as explicações possíveis para essa causa e prevalência, enfatiza-se o papel da memória de trabalho (MT). Vukovic et al., (2013), em estudo longitudinal, percebeu que o desempenho matemático de crianças ansiosas diferiu de acordo com nível da memória de trabalho, mas surpreendentemente, esse desempenho foi menor apenas para crianças com alto nível de MT. Uma vez que a Memória de Trabalho é importante para o aprendizado matemático, era de se esperar que crianças com mais recursos de MT obtivessem um maior desempenho. Uma explicação provável é que somente crianças com altos níveis de MT conseguiriam usar estratégias matemáticas mais sofisticadas e que, portanto, teriam seu progresso mais suscetível as implicações da Ansiedade Matemática (DOWKER, 2016).

A memória de trabalho trata de um sistema dedicado que armazena e processa informações a curto prazo (BADDELEY, 2003). Pelo modelo proposto e revisado por Baddeley, a MT é conduzida por um sistema “Executivo Central” que aloca, seletivamente, recursos cognitivos para três subcomponentes: o fonológico- responsável por manter e processar informações verbais (como números, letras, palavras e etc.), o viso espacial - responsável por manter e processar informações viso espaciais (como cor, forma, localização etc.) e o Buffer Episódico- responsável por integrar informações entre os circuitos fonológico, viso espacial e memória de longa duração (conforme figura 2).

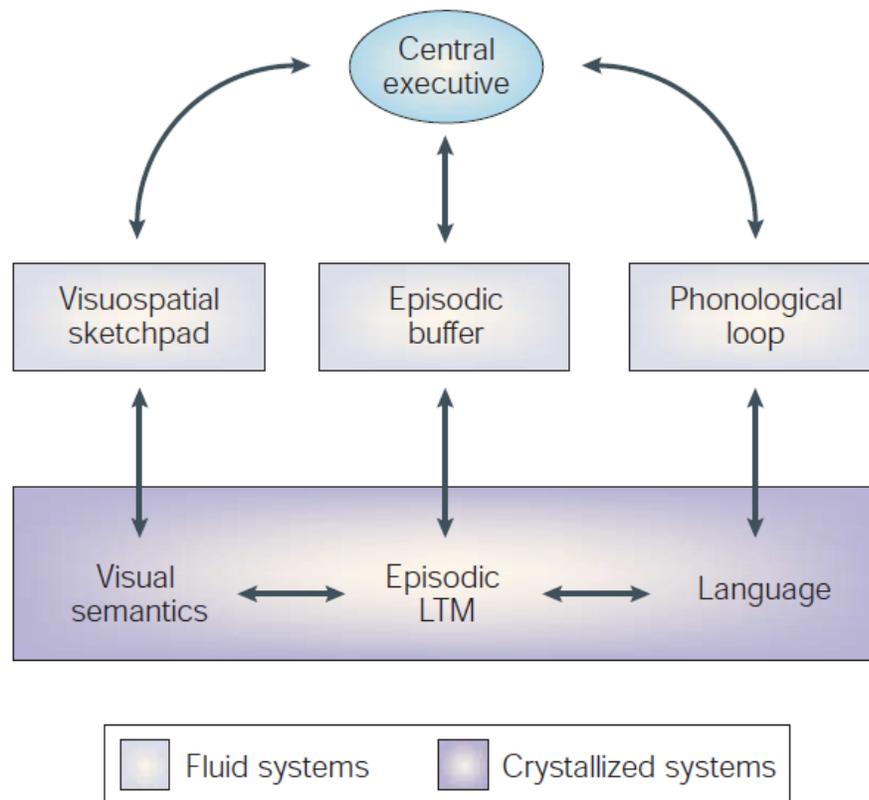


Figura 2- Os multicomponentes da memória de trabalho, conforme revisado por Baddeley. A cor lilás escura representa a informação cristalizada na memória de longo prazo. O Buffer Episódico fornece uma interface entre os subcomponentes da memória de trabalho e memória de longo prazo (BADDELEY, 2003).

O processo subjacente ao aprendizado matemático é cognitivamente dependente da memória de trabalho (WITT, 2011), pois exige resgate de informações previamente aprendidas, codificação, armazenamento e manipulação no processo de resolução de problemas, perpassando pelos componentes verbais (por exemplo, números), componentes visuais (por exemplo figuras geométricas e gráficos de funções) e memória de longo prazo, para resgatar conceitos anteriormente aprendidos (MOUSTAFA et al., 2017).

Os estudos de Barrouillet e Lépine (2005), por exemplo, mostraram que a capacidade da memória de trabalho influencia a resolução de problemas matemáticos. A alta capacidade de MT foi associada à um melhor desempenho, uso frequente de recuperação de dados e maior rapidez no tempo de resposta, mas sem incluir crianças com Ansiedade Matemática (OSEI-BOADI, 2016).

Outras evidências mostraram a estreita relação do Executivo Central (componente da memória de trabalho) com as habilidades matemáticas em crianças, como os encontrados em Bull

e Scerif (2001) e Swanson e Frankenberger (2004); esse último, mostrando resultados que sustentam a noção de que o sistema executivo é um importante preditor da resolução de problemas em crianças.

1.3. Ansiedade Matemática e desempenho matemático

Como dito, existem evidências consistentes de que fatores emocionais exercem uma importante função no desempenho, com a Ansiedade Matemática desempenhando papel particularmente grande (PEKRUN et al., 2017; HO et al., 2000; VAN DER BEEK et al., 2017). A AM é ligada a um menor desempenho, observando-se fracas e moderadas correlações negativas. Por exemplo, nas meta-análises de Hembree (1990) e Ma (1990), encontrou-se correspondências negativas de -0,27 e -0,34 entre tais variáveis.

Algumas teorias suscitam explicações quanto a essa relação, principalmente em torno da causalidade entre elas. Uma delas, a “Teoria do Déficit”, afirma que o mau desempenho em testes ou em matemática levam a uma maior ansiedade no futuro, quando deparada com situações similares (MEECE et al., 1990; MA e XU, 2004; RUBINSTEN e TANNOCK, 2010 ; DUNCAN et al., 2007). Os defensores dessa teoria acreditam que são os déficits de desempenho experienciados pelo sujeito que o farão ter lembranças negativas em relação a matemática, gerando a AM (HEMBREE, 1990).

Uma segunda corrente, denominada de “Modelo da Ansiedade Debilitante”, defende que é a AM que gera baixas performances matemáticas, na medida em que afeta funções cognitivas, como a memória de trabalho, por exemplo, com efeitos deletérios sobre o desempenho (ASHCRAFT, 2002; MORSANYI et al., 2014; SHI e LIU, 2016; CARGNELUTTI et al., 2016). Finalmente, a “Teoria Recíproca” suporta o entendimento de que, uma conexão bidirecional entre AM e desempenho matemático, produz interferências recíprocas em um ciclo vicioso (CAREY et al., 2016; JANSEN et al., 2013).

Frente a isso, uma questão pertinente que se apresenta é se a AM causa um mau desempenho em matemática ou se um pobre desempenho matemático ocasiona a AM (CAREY et al., 2016). Longe de ser uma questão trivial, compreender essa etiologia é importante para guiar intervenções, políticas educativas e formativas. Por exemplo, se a compreensão partir do fato de que o baixo desempenho matemático é que gera a AM e com base nesse entendimento se passa a investir em

curso de reforço matemático e formação de professores- quando na verdade, a direção pode ser a outra- teremos investido esforços sujeitos a ineficiência, sendo que o ganho estaria em remediar a Ansiedade Matemática para melhorar o desempenho (BEILOCK e WILLINGHAM, 2014, CAREY et al., 2016).

1.3.1. A relação entre AM e Desempenho, considerando o nível de complexidade da tarefa

Ashcraft e Faust (1994) e Faust (2010), reportaram que participantes com alta AM apresentaram dificuldades particulares ao resolverem operações matemáticas complexas ante operações simples; além disso, quando resolvidas, percebeu-se um processamento mais lento e maior esforço por parte desses indivíduos, com taxas de erros superiores aos participantes com baixa AM.

Por outro lado, Maloney et al. (2011), encontraram evidências de que Ansiedade Matemática afeta todas as atividades matemáticas, desde as mais básicas, que acabam por comprometer o desenvolvimento de habilidades matemáticas de nível superior. Em Lee e Cho (2018), resultados mais gerais foram demonstrados, confirmando uma relação negativa entre AM e desempenho, mas somente para cálculos que demandem maiores operações por parte da memória de trabalho.

No intuito de estabelecer melhores compreensões acerca disso, Chang et al. (2017), fizeram uso de ressonância magnética funcional para examinar os correlatos neurais do desempenho aritmético simples em grupos de indivíduos com alta e baixa Ansiedade Matemática, constatando que o desempenho dos dois grupos foi dependente da rede de atenção frontoparietal, com indivíduos ansiosos apresentando um melhor desempenho quando ativavam menos essa rede (figuras 3 e 4). Para questões aritméticas simples, melhor desempenho (para ambos os grupos) foi associado à maior atividade cerebral na Rede de Modo Padrão (*Default Mode Network*- DMN, figura 3). Essa rede é mais ativa quando as tarefas são fáceis e exigem menos atenção (BUCKNER, 2008) e são menos ativas, quando as tarefas são mais complexas (MCKIERNAN et al., 2003). Indivíduos com alta e baixa Ansiedade Matemática obtiveram o mesmo desempenho em tarefas simples, mostrando que a AM é minimamente relacionada ao desempenho em avaliações excessivamente simples (corroborando com os achados de ASHCRAFT e FAUST, 1994 e FAUST, 2010).

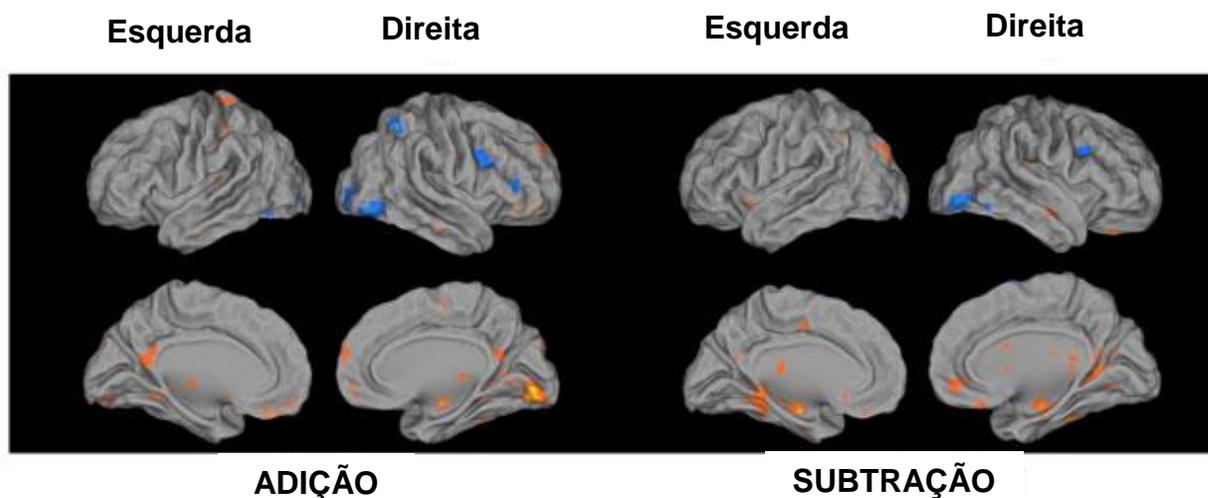


Figura 3- Semelhanças na relação entre desempenho e atividades cerebrais considerando grupos com alta e baixa Ansiedade Matemática para questões aritméticas simples. Um melhor desempenho em tarefas simples de adição e subtração foi associado a maior atividade cerebral principalmente Rede de Modo Padrão (Default Mode Network-DMN). Os pontos de ativação que mostram a relação positiva entre atividade cerebral e desempenho estão retratados na cor laranja. Os pontos de ativação que mostram a relação negativa entre atividade cerebral e desempenho estão retratados na cor azul. (CHANG et al., 2017).

Entretanto, em tarefas que exigiram maior atenção e esforço cognitivo, os dois grupos exibiram diferenças, principalmente na região frontoparietal (giro frontal inferior e lóbulo parietal superior). Para indivíduos com baixa Ansiedade Matemática, o desempenho em aritmética melhora quando eles recrutam menos a rede frontoparietal. Em contraposição, o desempenho dos indivíduos com alta Ansiedade Matemática foi menos dependente da redução dessa mesma região (Figura 4).

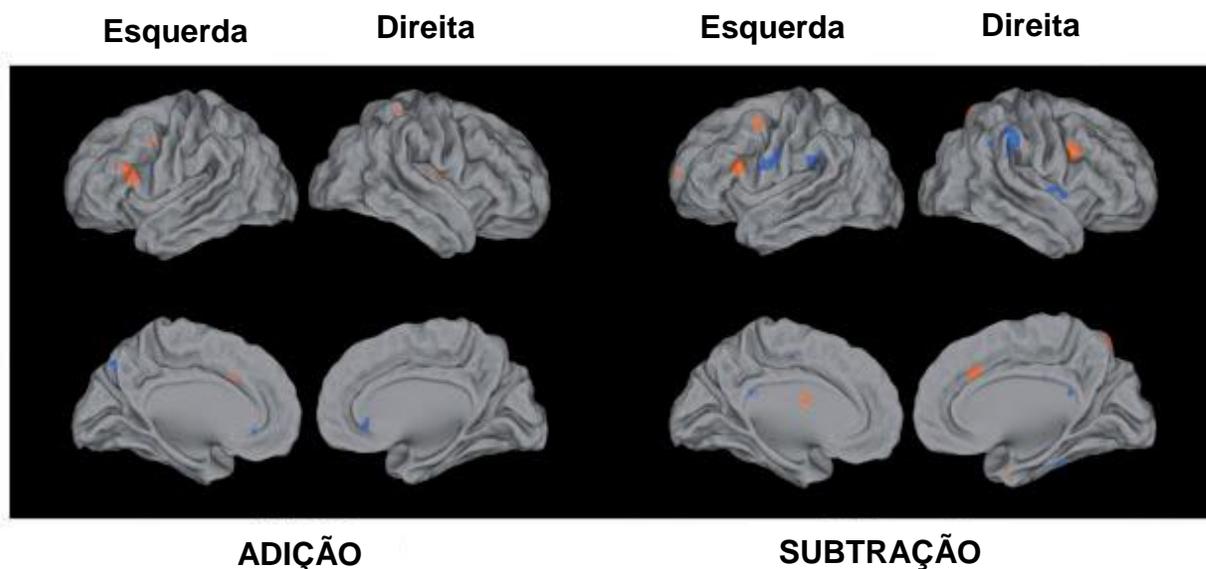


Figura 4- Diferenças na relação entre desempenho e atividades cerebrais considerando grupos com alta e baixa Ansiedade Matemática para questões aritméticas complexas. Para tarefas aritméticas que exigiram mais atenção e esforço cognitivo, pontos de ativação que mostram a relação positiva entre atividade cerebral e desempenho estão retratadas na cor laranja; Pontos de ativação que mostram a relação negativa entre atividade cerebral e desempenho estão retratados na cor azul (CHANG et al., 2017).

Para Chang e colaboradores (2017), uma possibilidade que explica porque o desempenho matemático de indivíduos ansiosos está menos relacionado a uma redução na rede frontoparietal, pode residir no fato de que algumas pessoas ansiosas promovem um controle cognitivo para regular efeitos negativos, advindas das situações relacionadas à matemática; isto é, esses indivíduos podem tentar reduzir suas preocupações e pensamentos negativos recrutando a rede frontoparietal para processar ou manipular informações numéricas.

1.3.2. A relação entre AM e Desempenho, considerando a competição por recursos na Memória de Trabalho

Uma outra hipótese que surgiu para explicar a relação entre AM e desempenho, diz respeito ao papel crítico da memória de trabalho (especificamente a área relacionada ao executivo central) sobre o desempenho matemático. Geary e Widaman (1992), por exemplo, demonstraram que a capacidade de MT era estreitamente relacionada com habilidades na resolução de problemas aritméticos e, em particular, à velocidade de recuperação de fatos e execução de várias operações.

Por outro lado, os estudos de Liebert e Moms (1967), que dividiram a ansiedade ao teste em dois componentes: preocupação e emotividade, estimularam um considerável corpo de pesquisa a estudar o impacto da preocupação e da emotividade na performance acadêmica. Grande parte dessas pesquisas, indicaram que a preocupação é o fator crítico responsável pelos decréscimos de desempenho (por exemplo DEFFENBACHER, 1980; MOMS, DAVIS, e HUTCHINGS, 1981, ASHCRAFT e KIRK, 2001), especificamente por interferir na atenção. Em outras palavras, pensamentos intrusivos competem por recursos de processamento na memória de trabalho, com outras tarefas cognitivas que estão em andamento. O resultado dessa concorrência é um baixo desempenho ou declínio de precisão (menor eficiência cognitiva).

A Teoria do Processamento Eficiente, proposta por Eysenck e Calvo (1992), fornece explicações nessa direção, considerando indivíduos com ansiedade-traço. Partindo de um sistema de memória de trabalho responsável pelo processamento e armazenamento temporário de informações, um primeiro efeito observado ao se preocupar com o desempenho em determinada tarefa é a imposição de demandas substanciais sobre a capacidade da MT. Um segundo efeito, diz

respeito a um sistema de controle ou auto regulação que está envolvido na mediação da ansiedade no processamento e no desempenho. De maneira geral, indivíduos com alta ansiedade tendem a gastar maior esforço cognitivo para atingir o mesmo nível de desempenho alcançado por sujeitos de baixa ansiedade.

Os estudos de Ashcraft e Kirk (2001), basearam-se nos fundamentos da Teoria do Processamento Eficiente, estendendo-a para indivíduos com Ansiedade Matemática. Nos experimentos realizados com universitários, notou-se que participantes com alta AM demonstraram limitações na memória de trabalho, que, por sua vez, levou ao aumento de tempo de resposta e erros quando a adição mental foi realizada simultaneamente com tarefa de sobrecarga de memória. Isso sugere que a AM reduz o desempenho matemático independente do nível de domínio sobre a matemática (ASHCRAFT e MOORE, 2009). Os autores perceberam que se tratou de evento transitório na MT e consideraram que a “ruptura de processos executivos centrais” pode ser um possível mecanismo subjacente a este efeito. Owens et al. (2008), estenderam as compreensões da Teoria do Processamento Eficiente para populações de 11 a 12 anos de idade, destacando a teoria como um quadro útil para avaliar o impacto de ansiedade sobre os desempenhos acadêmicos de crianças.

Contudo, conforme se foi avançando nos estudos sobre essa teoria, percebeu-se que ela carecia de precisão e/ou poder explicativo para vários outros achados. Por exemplo, a perspectiva de que a ansiedade prejudica a eficiência do processamento em áreas relacionadas ao executivo central era imprecisa, pois não informava quais funções executivas centrais eram adversamente comprometidas. Além disso, a Teoria do Processamento Eficiente não considerava abertamente as circunstâncias onde os indivíduos ansiosos superavam os não ansiosos em termos de desempenho.

Foi nesse cenário que surgiu a Teoria do Controle Atencional (EYSENCK e CALVO, 2007), fundamentando-se nos pontos fortes da teoria anterior e abordando de modo mais proeminente suas limitações, tornando mais preciso os efeitos da ansiedade sobre o executivo central.

Em particular, a Teoria do Controle Atencional acrescenta que a ansiedade produz efeitos negativos no desempenho a partir de duas funções executivas envolvendo controle de atenção: inibição e deslocamento. Entretanto, ratificam que a qualidade de desempenho pode não ficar necessariamente prejudicada, isso porque a ansiedade pode estimular o uso de estratégias compensatórias (mais esforço/ maior uso de recursos de processamento). Essa explicação pode vir

esclarecer porque um grupo de indivíduos ansiosos podem ter desempenhos variados em uma mesma tarefa matemática como será discutido na sessão 1.4 considerando os correlatos neurais da AM. Foi a partir da Teoria do Controle Atencional que vários outros estudos envolvendo Ansiedade Matemática e desempenho matemático avançaram, considerando o protagonismo do controle inibitório nessa relação.

1.3.3. A relação entre AM e Desempenho, considerando o déficit de inibição/controlar atencional

Hopko et al. (1998) foram um dos primeiros a considerar que os efeitos negativos sobre a memória de trabalho de indivíduos com AM não dependeriam apenas de preocupações e/ou pensamentos intrusivos quando em contato com estímulos matemáticos. O que poderia separar sujeitos com alta e baixa AM, em termos de seus desempenhos, seria a eficiência em inibir (suprimir) atenção a esses pensamentos.

Em seus experimentos, Hopko e colaboradores (1998) dividiram os participantes em grupos de baixa, média e alta Ansiedade Matemática, a partir de suas pontuações obtidas em um questionário auto relatado (o Shortened Mathematics Anxiety Rating Scale (sMARS) de ALEXANDER e MARTRAY, 1989). Os participantes foram expostos a parágrafos de 150 palavras e solicitados a ler em voz alta partes do trecho que estavam escritas em itálico que poderiam estar ou não relacionados a matemática, ao mesmo tempo em que deveriam ignorar os demais trechos impressos em letra normal, que tinham caráter de distratores.

Notou-se que os participantes com média e alta AM levaram significativamente mais tempo para ler os parágrafos com distratores, mesmo quando não estavam relacionados com a matemática, obtendo um desempenho mais pobre que seus pares menos ansiosos. Os resultados levaram ao entendimento que participantes com AM se mostram menos eficientes no controle inibitório, tornando-se mais suscetíveis à distração por estímulos ameaçadores.

A vulnerabilidade dos indivíduos com Ansiedade Matemática à distração foi demonstrada em diversos outros estudos, fazendo uso de tarefas Stroop, usadas recorrentemente para mensurar a função de inibição, uma vez que requer a capacidade de concentrar atenção em informações relevantes e inibir o que é irrelevante.

Suárez-Pellicioni et al. (2013a) descobriram que participantes com alto grau de AM, levaram mais tempo para concluir uma tarefa numérica de Stroop, cometendo mais erros em relação a tarefa clássica (de cores e palavras). Hopko et al. (2002), constataram algo semelhante na

realização de uma tarefa numérica na qual os participantes deveriam informar a quantidade de números contidos em um cartão, evitando a interferência da identidade numérica (por exemplo, 222, onde a resposta deveria ser 3). De igual modo, Suárez Pellicioni et al. (2014), notaram baixos desempenhos dos participantes ansiosos em tarefas nas quais deveriam informar qual dos dois números apresentados na tela de um computador exibiam maior magnitude, evitando a interferência do tamanho físico do número (por exemplo, 2 e 8, resposta correta, 8).

Recentemente, Suárez- Pellicioni et al. (2015) investigaram se a AM é caracterizada por um viés de atenção considerando palavras relacionadas à matemática (como as expressões “fórmula” e “números”, por exemplo). Para isso, elaboraram uma tarefa Stroop com termos de cunho matemático e outro com vocábulos de caráter neutro. A tarefa dos participantes consistia em responder a cor da tinta dos estímulos apresentados (as cores foram vermelho, azul, verde e amarelo). As descobertas dos autores mostraram que os tempos de resposta dos indivíduos com AM foram mais lentos para palavras relacionadas à matemática do que para palavras neutras. Os grupos também diferiram quanto ao índice de viés atencional, com os ansiosos apresentando maior viés do que seus pares menos ansiosos.

Essas evidências trouxeram suporte para o fato de que os indivíduos com Ansiedade Matemática apresentam mecanismo deficiente de inibição², que seria o fator responsável pela redução de recursos de memória de trabalho (já que ela seria consumida por dados de tarefas irrelevantes), impactando negativamente seus desempenhos. Em outros termos, não seria necessariamente (e somente) a experiência de se preocupar, mas sim a ineficiência de desviar a atenção da preocupação e voltar à tarefa de interesse.

A base para todos esses entendimentos advém da Teoria da Inibição proposta por Hasher e Zacks (1988). Nesse modelo teórico, a inibição (como um mecanismo de atenção seletiva) funciona para controlar o impacto negativo que os distratores podem ter nos objetivos principais das tarefas. Nas palavras de Connelly et al. (1991), “trata-se de um mecanismo que serve para amortecer a ativação de pensamentos ou representações irrelevantes de tarefas” (p. 533). Quando esse mecanismo funciona efetivamente, o indivíduo consegue executar uma tarefa com uma quantidade mínima de interferência. Em contrapartida, se esse mecanismo não funciona à contento, a memória de trabalho será consumida por dados irrelevantes de tarefas.

² Deficiência de Inibição: Não se tem o uso de controle atencional para resistir à interrupção ou interferência de estímulos ou respostas irrelevantes de tarefas (MIYAKE et al., 2000).

1.4. Redes neurais da Ansiedade Matemática

A partir dos resultados recentes de estudos que fizeram uso de fMRI (Imagem por Ressonância Magnética Funcional) ou medidas de reatividade eletrofisiológica, como Potenciais Relacionados a Eventos- PER (em inglês, ERP) e Eletroencefalograma- EEG, foi possível perscrutar as principais regiões cerebrais relacionadas à Ansiedade Matemática. Trata-se de esforços ainda incipientes, mas que corroboram, aprimoram e avançam os resultados dos estudos psicológicos conduzidos ao longo dos últimos 60 anos.

Na figura 5, nota-se regiões cerebrais ativadas para a AM, considerando seus componentes afetivos e cognitivos, tanto para indivíduos com baixa Ansiedade Matemática quanto para indivíduos com alta Ansiedade Matemática. O esquema foi construído por Astemenko et al. (2015), baseado em estudos desenvolvidos nos últimos anos.

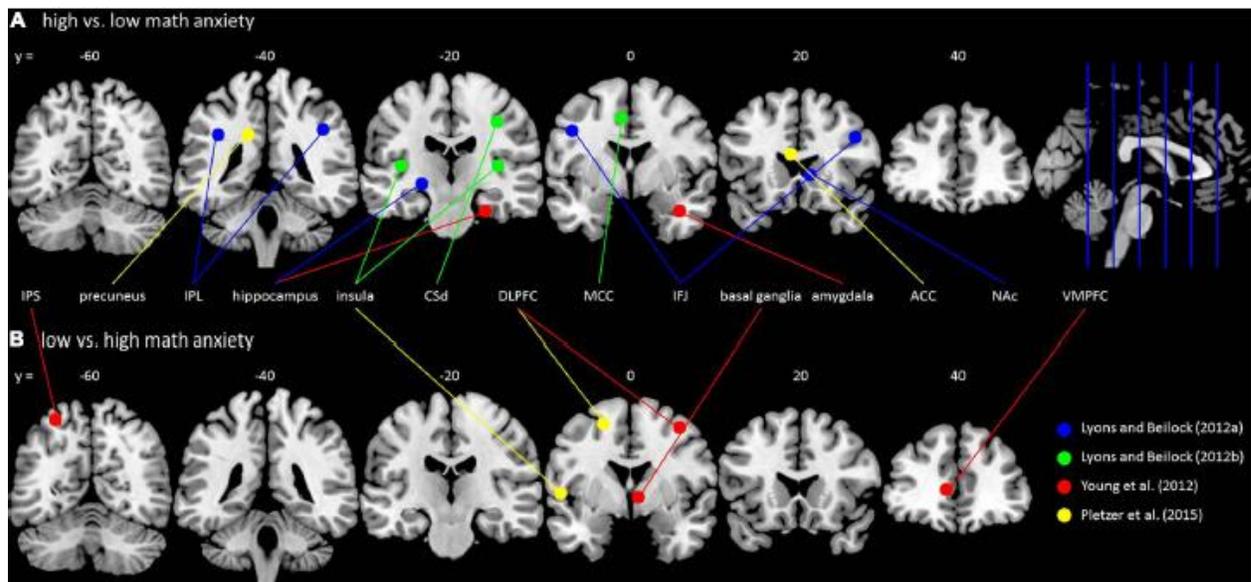


Figura 5- Distintos acionamentos cerebrais para a Ansiedade Matemática- A) Áreas do cérebro ativadas em indivíduos com alta ansiedade matemática quando comparados a indivíduos com baixa ansiedade matemática. B) Áreas do cérebro ativadas em indivíduos com baixa ansiedade matemática quando comparados a indivíduos com alta ansiedade matemática. Os diferentes estudos considerados nesse panorama estão indicados por cores primárias: cor azul- Lyons e Beilock (2012,a); Cor Verde: - Lyons e Beilock (2012, b); Cor Vermelha: Young *et al* (2012); Cor amarela: Pletzer et al. (2015). Siglas baseadas nos estudos originais: ACC, giro cingulado anterior; CSD, segmento dorsal do sulco central; DLPFC, córtex pré-frontal dorsolateral; IFJ, junção frontal inferior; IPL, inferior Lobo parietal; IPS, sulco intraparietal; MCC, córtex intermediário; NAc, núcleos accumbens; VMPFC, córtex pré-frontal ventromedial. Adaptado de Artemenko et al., (2015).

As evidências apontam pelo menos duas redes que estão relacionadas a “emotividade” da Ansiedade Matemática no cérebro: a rede da dor, abrangendo a ínsula (LYONS E BEILOCK, 2012 a e b) e a rede do medo, envolvendo a amígdala (YOUNG et al., 2012).

Em relação a primeira (rede da dor), os estudos conduzidos por Lyons e Beilock (2012) trouxeram evidências que explicam a natureza subjetiva da Ansiedade Matemática. Enquanto as atividades cerebrais eram medidas por fMRI, quatorze participantes com alta AM e quatorze indivíduos com baixa AM tiveram que responder, intercaladamente, blocos de tarefas matemáticas e de palavras. Um círculo amarelo ou um quadrado azul indicavam antecipadamente se a atividade envolveria cálculo ou vocábulo.

Notou-se que ao se antecipar uma tarefa de matemática, mais aumentava a atividade em regiões associadas as ameaças viscerais (ínsula dorso-posterior bilateral) nos indivíduos AM (figura 6), experimentando-se muitas das vezes a experiência da própria dor (LAMM et al., 2011); fato não constatado em indivíduos com baixa AM. Lyons e Beilock (2012a, p.1) sugerem que “a ativação da rede de dor está subjacente ao fato de que simplesmente antecipar um evento temido, pode ser doloroso”.

Se a experiência da Ansiedade Matemática gera uma reação corporal visceral aversiva, tais resultados fornecem evidências significativas quanto ao potencial mecanismo neural que explica porque pessoas que apresentam alta Ansiedade Matemática tendem a evitar situações relacionadas a disciplina, seja em seu cotidiano, seja em sala de aula ou até mesmo em suas trajetórias acadêmicas.

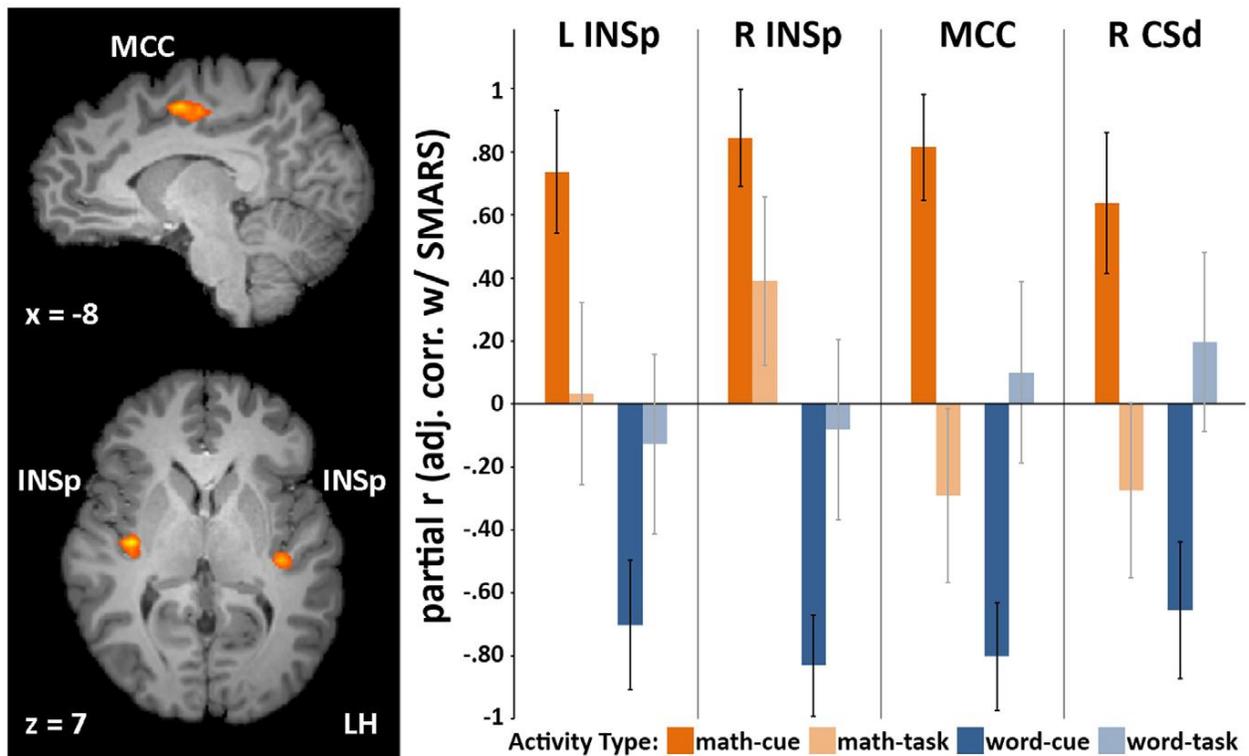


Figura 6- Relação entre as atividades em regiões associadas a detecção de ameaça visceral (envolvendo, frequentemente a experiência da própria dor) e o nível de ansiedade Matemática dos participantes. A atividade foi mensurada enquanto os sujeitos respondiam tarefas de matemática e de palavras, antecipadamente informadas. Quatro regiões - ínsula dorso-posterior bilateral (em inglês, INSp), Córtex cingulate Medial (CCM) e Sulco Central Posterior (em inglês, CSd) - mostraram interações significativas, ao se relacionar com a escala de ansiedade SMARS e a tarefa de matemática e interações negativas ao se relacionar com a escala SMARS e atividade de palavras (as barras não devem ser interpretadas como níveis de atividades, mas como correlações parciais) (LYONS e BEILOCK, 2012b).

Os achados de Lyons e Beilock (2012a) também fornecem explicações do porquê indivíduos com mesmo grau de AM apresentam desempenhos matemáticos variados. Por encontrarem atividades em regiões frontais do cérebro, envolvidas na regulação de emoções negativas, os autores partiram do pressuposto de que a redução de déficits matemáticos seria resultado do aumento do controle cognitivo, que permitiria aos participantes ansiosos ir mudando o desempenho ao longo da resolução de tarefas matemáticas.

Em outros termos, poder-se-ia perguntar até que ponto os indivíduos com alta Ansiedade Matemática conseguiriam recrutar áreas cerebrais relacionadas ao controle atencional e regulação de emoções, geralmente acopladas a região do córtex pré-frontal dorsolateral (BRASS et al., 2005)? A hipótese era que quanto maior a atividade nessa região, mais os indivíduos AM estariam no controle de resposta negativa, e, portanto, conseguiriam obter melhor desempenho. Essa hipótese

foi confirmada, concluindo que o desempenho matemático de indivíduos ansiosos está associado à capacidade de acelerar recursos de controle cognitivo.

A esse respeito, o estudo conduzido por Sarkar et al. (2014) fez uso de Estimulação Transcraniana de Corrente Contínua (ETCC), emitida justamente no córtex pré-frontal dorsolateral, um alvo frequente para a modulação da regulação emocional, percebendo-se melhoras no tempo de resposta para problemas aritméticos simples e diminuição nas concentrações de cortisol (um biomarcador de estresse), em indivíduos com alta Ansiedade Matemática, embora tenha se percebido efeito contrário em estudantes com baixa AM.

Criticamente, as evidências de Klados et al. (2017) foram consistentes com os achados de Lyons e Beilock (2012a) ao perceberem que a rede cerebral em indivíduos ansiosos muda durante a fase de antecipação de uma experiência relacionada à matemática. Notou-se atividade em todas as bandas de frequência do EEG em contraste com os pares menos ansiosos. Antecipando uma próxima tarefa matemática, regiões associadas à dor foram ativadas na ínsula dorso posterior bilateral, o que viria explicar as ativações nas bandas de frequência Beta e Gama, segundo os autores. A frequência na banda Theta, por sua vez, foi avaliada como resposta a expressões emocionais ou a alta demanda de recursos na memória de trabalho para controlar emoções negativas, em contraposição aos menos ansiosos, onde a MT se mostra mais eficiente (ver Klados et al., 2017).

Lyons e Beilock (2012b) sugerem que intervenções educativas que enfatizam o controle de fatores emocionais negativos tendem a ser mais eficazes para promover uma população matematicamente proficiente, quando comparadas com interferências que foquem meramente em treino adicional de matemática.

Em relação à segunda (rede de medo), Young et al. (2012), notaram conectividade aberrante da amígdala direita (que é importante no processamento de emoções negativas) em crianças de 7 a 9 anos com alta Ansiedade Matemática (figura 7 a). Considerando que a amígdala é conhecida pela percepção do medo (PHELPS E LEDOUX, 2005), sua ativação durante tarefa matemática vem confirmar o medo da matemática das crianças.

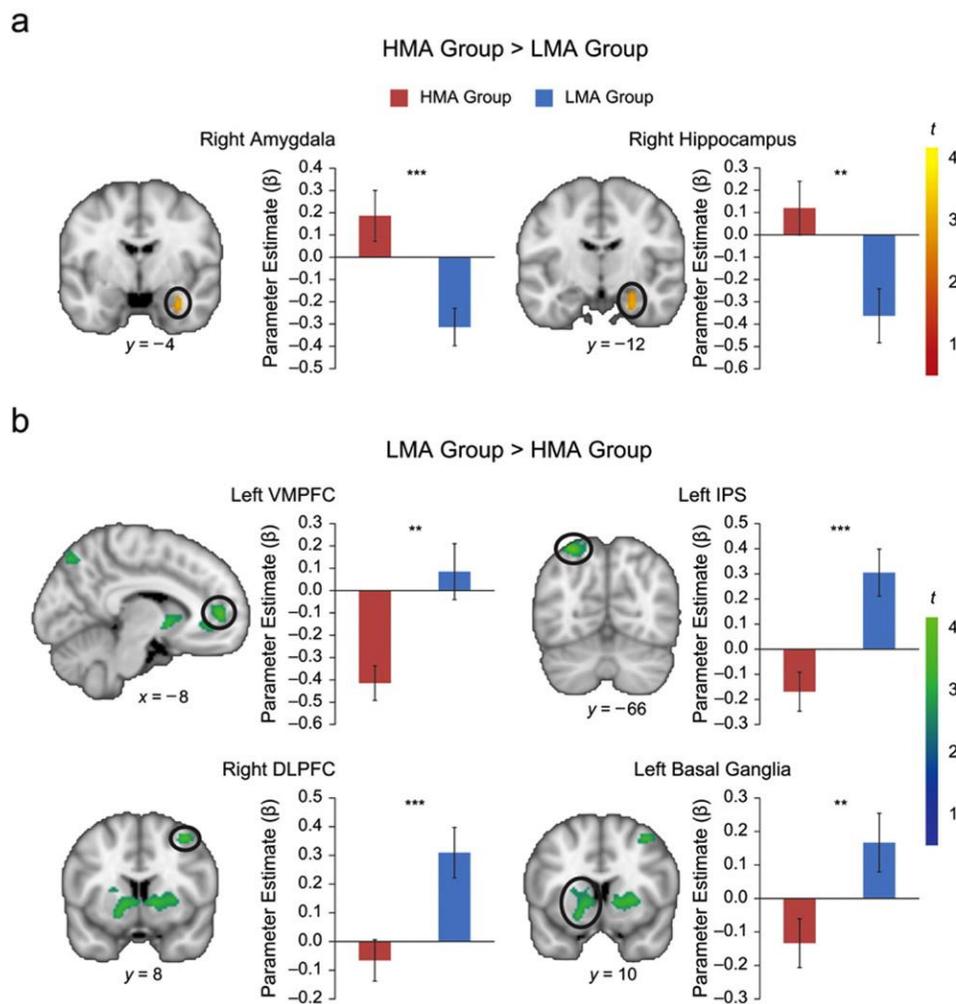


Figura 7- Áreas cerebrais conforme grupo de alta e baixa ansiedade matemática. Conforme figura: a) áreas cerebrais com maior ativação para o Grupo AM; b) áreas cerebrais com maior ativação para grupo de baixa ansiedade matemática. Esses resultados demonstram que a Ansiedade Matemática em crianças de 7 a 9 anos está relacionada a diferenças significativas na ativação de áreas cerebrais que medeiam o processamento de informações afetivas e cognitivas (YOUNG et al., 2012). Legenda: LMA: Baixa Ansiedade Matemática; HMA: Alta Ansiedade Matemática; VMPFC: Cortex préfrontal ventromedial; IPS: Sulco Intraparietal; DLPFC: Córtex Préfrontal dorsolateral

Ao mesmo tempo, perceberam associação da AM com resposta reduzida nas regiões do córtex pré-frontal parietal e dorsolateral posterior (figura 7 b), envolvidas na memória de trabalho e no raciocínio matemático (MENON et al., 2010; WENDELKEN, 2015). Esses resultados vão ao encontro de estudos anteriores que pensaram a influência da Ansiedade Matemática sobre o desempenho a partir da capacidade reduzida da memória de trabalho (como por exemplo, ASHCRAFT, 2001; BEILOCK e DECARO, 2007).

A conectividade da amígdala com outras áreas cerebrais também foi observada por Young e seus colaboradores (2012). Enquanto em crianças pouco ansiosas a amígdala foi acoplada a áreas cerebrais que facilitam o processamento eficiente de tarefas, em crianças com alta AM, a amígdala mostrou maior conectividade com regiões envolvidas no processamento e regulação de emoções negativas (em uma espécie de mecanismo compensatório de desempenho). As evidências de que a amígdala está envolvida em comportamentos cognitivo-emocionais complexos a partir de suas interações com distintas áreas cerebrais e processos de aprendizagem e atenção, podem ser aprofundadas nos artigos de revisão de Phelps e Ledoux (2005) e Pessoa (2008).

O estudo conduzido por Pizzie e Kraemer (2017), confirmou essa ativação da amígdala em resposta a uma breve exposição à estímulos matemáticos, ampliando os resultados para adultos jovens. Esses dados vêm ilustrar que mesmo sem a expectativa ou o ato de resolver problemas, existe uma resposta neural relacionada à ameaça e vigilância por parte dos indivíduos com alta Ansiedade Matemática, semelhante a fobias específicas (como medo de cobra, por exemplo).

Outra implicação importante do estudo de Pizzie e Kraemer (2017) mostra que essa responsividade da amígdala durante os ensaios envolvendo os estímulos matemáticos, parecem ser característica específica da Ansiedade Matemática, pois não foi observado o mesmo comportamento em relação a ansiedade geral. Esses resultados se apresentam consistentes com os obtidos em pesquisas anteriores (como YOUNG et al., 2012; LYONS e BEILOCK, 2012a).

O quadro a seguir (quadro 2) descreve os resultados de uma revisão sistemática que sintetiza esses e outros principais estudos desenvolvidos na última década sobre os correlatos neurais associados à Ansiedade Matemática, contribuindo em nosso entendimento acerca das implicações neurobiológicas desse transtorno de aprendizagem.

As bases de dados eletrônicas PubMed e ERIC foram elegidas para o processo de busca. Termos-chave incluindo a combinação das palavras “*brain*”, “*brain network*”, “*anxiety mathematical*”, “*arithmetic*”, dentre outras palavras equivalentes, foram elegidos. Para essa Revisão Sistemática, incluiu-se todos os estudos que: i) investigaram as redes neurais da Ansiedade Matemática; ii) foram escritos em língua inglesa; iii) publicados entre 2008 e 2018; iv) realizados com escolares ou não escolares, independente da idade. v) envolveram tarefas numéricas e vi) apresentaram implicações diretas para o processo de ensino aprendizagem. Foram excluídos estudos que: i) foram desenvolvidos com populações especiais (por exemplo, alunos com

discalculia); ii) não apresentaram implicações educacionais; iv) investigaram redes neurais vinculadas a intervenções de remediação da Ansiedade Matemática.

A qualidade dos estudos elegidos foi avaliada baseada nos 11 itens da escala do Banco de Dados de Evidências Fisioterapêuticas (PEDro), conforme o quadro 1. A referida escala, amplamente utilizada na avaliação de metanálises, avalia de forma confiável características dos estudos, como randomização, cegamento, comparação entre grupos e medidas de variabilidade (SHIWA et al., 2011).

Escala de Qualidade PEDro- Versão brasileira	
1.	Os critérios de elegibilidade foram especificados.
2.	Os sujeitos foram aleatoriamente distribuídos por grupos (em um estudo cruzado, os sujeitos foram colocados em grupos, de forma aleatória, de acordo com o tratamento recebido).
3.	A alocação dos sujeitos foi secreta.
4.	Inicialmente, os grupos eram semelhantes no que diz respeito aos indicadores de prognóstico mais importantes.
5.	Todos os sujeitos participaram de forma cega no estudo.
6.	Todos os terapeutas que administraram a terapia fizeram-no de forma cega
7.	Todos os avaliadores que mediram pelo menos um resultado-chave fizeram-no de forma cega.
8.	Mensurações de pelo menos um resultado-chave foram obtidas em mais de 85% dos sujeitos inicialmente distribuídos pelos grupos.
9.	Todos os sujeitos a partir dos quais se apresentaram mensurações de resultados receberam o tratamento ou a condição de controle conforme a alocação ou, quando não foi esse o caso, fez-se a análise dos dados para pelo menos um dos resultados-chave por “intenção de tratamento”.
10.	Os resultados das comparações estatísticas intergrupos foram descritos para pelo menos um resultado-chave.
11.	O estudo apresenta tanto medidas de precisão como medidas de variabilidade para pelo menos um resultado-chave.

Quadro 1- Escala de Qualidade PEDro (Português-Brasil)

Fonte: SHIWA et al, 2011

O fluxograma PRISMA foi utilizado como parâmetro para conduzir a identificação, triagem, elegibilidade e inclusão de estudos para essa Revisão Sistemática (conforme figura 8).

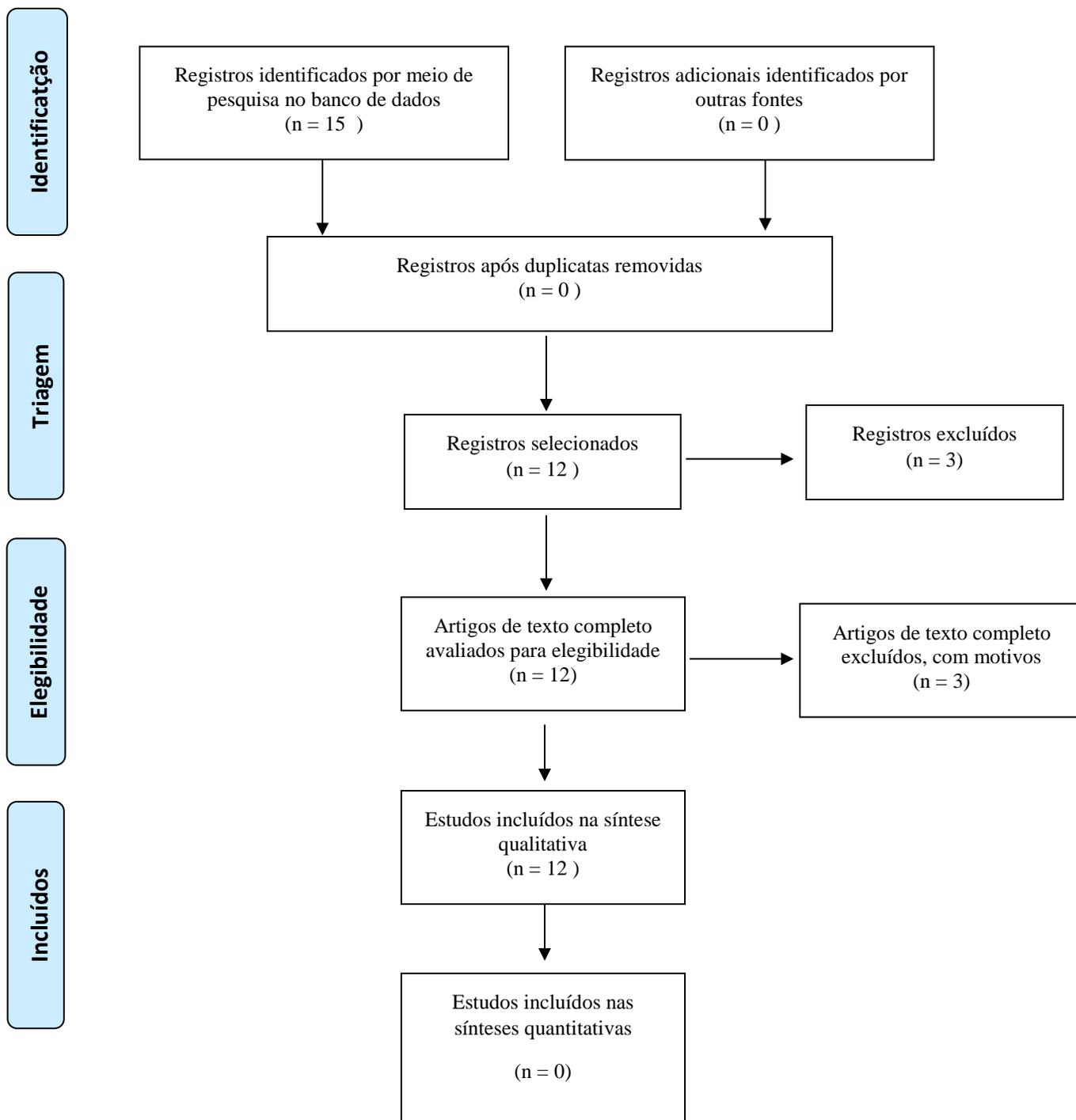


Figura 8- Fluxograma de seleção de estudos PRISMA
Fonte: MOHER et al. (2009).

Dos 15 estudos identificados, 3 foram excluídos por não atenderem aos critérios de inclusão. Um deles, o estudo de Jones et al (2012), investigou como o cérebro de indivíduos ansiosos mudam quando tem que decidir pela compra de itens de consumo, não apresentando

implicações diretas para o processo de ensino aprendizagem. O estudo de Menon et al (2015), que investigou os correlatos neurais após a intervenção de uma intensa tutoria cognitiva e o estudo de Sakar et al (2014) que investigou uma intervenção fazendo uso de Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) também foram desconsiderados para o escopo de análise desse estudo. Análises pormenorizadas dos artigos incluídos serão discutidas a seguir.

Referência	População	Procedimentos	Correlatos neurais	Implicações
Lyons e Beilock (2012a)	28 participantes adultos	Os sujeitos realizaram 2 tarefas distintas (matemática e tarefa de palavras) em dois níveis de dificuldade para cada tarefa: difícil e fácil. Antes de cada bloco de ensaio, foi fornecida uma sugestão que indicava o tipo de tarefa que estava prestes a seguir. A atividade neural foi medida por fMRI.	Rede de regiões frontoparietais inferiores (IFJ, IPL, IFGa esquerda) foram associadas a indivíduos com alta Ansiedade Matemática. A atividade nessas regiões, uma área do córtex, é associado ao controle cognitivo de processos de alto nível, como deslocamento de tarefa e inibição de respostas (BRASS et al., 2005; DERRFUSS et al., 2005, 2009).	Os déficits de desempenho matemático exibidos por alguns Indivíduos com Alta Ansiedade Matemática (IAM) podem ser consequência da elevação de recursos de controle cognitivo por parte desses indivíduos ao antecipar uma tarefa matemática. Os resultados sugerem, portanto, que as melhores práticas para melhorar a competência matemática dos IAM não é gerar mais cursos de matemática. Ao invés disso, focar em práticas de sala de aula que ajudem os alunos a organizar recursos de controle cognitivo.
Lyons e Beilock (2012b)	28 participantes adultos	Os participantes completaram uma tarefa de palavra e uma tarefa matemática (design de bloco) enquanto a atividade neural foi medida usando fMRI.	A insula dorso-posterior (INSP) e o córtex médio-cingulado (MCC) mostraram maior conectividade ao se antecipar uma tarefa de matemática. Essas regiões estão implicadas na percepção da dor visceral (advindas de estímulos ameaçadores).	Se a experiência de Ansiedade Matemática se baseia em uma reação corporal visceral e aversiva (relacionada a percepção de dor), pode-se explicar porque indivíduos com Alta Ansiedade Matemática evitam situações e problemas relacionados a matemática.
Young et al. (2012)	46 crianças entre 7-9 anos	As crianças verificaram problemas aritméticos simples e complexos, envolvendo adição e subtração, informando se estavam corretos ou incorretos, enquanto eram monitoradas por fMRI.	A Ansiedade Matemática foi associada à hiperatividade anormal da amígdala, uma região do cérebro associada ao processamento de emoções negativas e estímulos de medo (Phelps & LeDoux, 2005). Em crianças com Alta Ansiedade, foram encontradas respostas reduzidas em áreas corticais e subcorticais que têm sido consistentemente associadas com o raciocínio matemático em crianças e adultos (Menon, Rivera, White, Glover, e Reiss, 2000). Além disso, crianças ansiosas mostraram respostas reduzidas em regiões envolvidas na memória de trabalho e atenção, incluindo o córtex pré-frontal	Essas evidências suportam o fato de que a Ansiedade Matemática se desenvolve em crianças e destacam a importância de avaliá-la e tratá-la precocemente. Necessariamente, a AM influencia o desempenho a partir da capacidade reduzida da Memória de Trabalho, da atenção e de processos de controle cognitivo durante a resolução de problemas matemáticos

			dorsolateral, pré-suplementar área motora e gânglios basais (CHANG, CROTTAZ-HERBETTE E MENON, 2007)	
Suaréz Pellicioni et al. (2013a)	26 estudantes universitários	Os participantes completaram tarefas de verificação de sentenças do tipo $a + b = c$, algumas com soluções dramaticamente incorretas, enquanto eram monitorados usando medidas de reatividade eletrofisiológica- PER (Potenciais de Eventos Relacionados)	Foi encontrado um componente P600/P3b de maior amplitude e atraso de latência para o grupo de alta ansiedade Matemática em comparação com os pares de baixa ansiedade matemática. Contudo, isso foi observado apenas para as soluções dramaticamente incorretas.	Considerando que a amplitude deste componente indica a quantidade de recursos de atenção atribuídos a um estímulo; e sua latência reflete a velocidade para processar estímulos, pode-se concluir que indivíduos ansiosos estavam gastando mais tempo e recursos no processamento de uma solução que poderia prontamente ser ignorada dada a obviedade de seu erro. Isso implica em um déficit de atenção/inibição em indivíduos com Alta Ansiedade Matemática.
Suaréz Pellicioni et al. (2013b)	34 participantes adultos	Os participantes resolveram tarefas Stroop numéricas e tarefas Stroop Clássicas enquanto eram monitorados usando medidas de reatividade eletrofisiológica- PER (Potenciais de Eventos Relacionados)	Foi encontrado o componente ERN-Negatividade de Erro Relacionado (ERN) no grupo dos Indivíduos com Alta Ansiedade Matemática quando estes cometeram erros na tarefa numérica de Stroop, mas não na tarefa clássica de Stroop.	Os dados sugerem que Indivíduos com Alta Ansiedade Matemática são mais propensos a autogerar erros em tarefas numéricas. Considerando que os erros são vistos de modo negativo em tarefas matemáticas, provavelmente ele constitui fator contributivo no desenvolvimento e manutenção da Ansiedade Matemática. Intervenções educativas que redimensionem positivamente o “erro” em tarefas matemáticas podem ter implicações positivas no processo de ensino aprendizagem.
Suaréz Pellicioni et al. (2014a)	34 estudantes universitários	Os estudantes resolveram tarefas Stroop numéricas (onde pares de números arábicos eram apresentados na tela de computador. Eles tinham que informar o número de maior magnitude numérica, ignorando seus tamanhos físicos). Tarefas congruentes (quando a	O componente N450 que está associado ao processamento de conflitos, foi observado em indivíduos com alta ansiedade Matemática	Encontrou-se uma correlação positiva entre os tempos de resposta e a Ansiedade Matemática, de modo que quanto maior o nível de ansiedade matemática, maior o tempo necessário para responder à testes incongruentes em comparação aos congruentes na tarefa stroop

		<p>magnitude do número coincidia com seu tamanho físico) e incongruentes (quando a magnitude do número diferia do tamanho físico) foram apresentadas. O monitoramento ocorreu usando medida de reatividade eletrofisiológica- PER (Potenciais de Evento Relacionados)</p>		<p>numérica. Os efeitos da AM foram mostrados nos tempos de resposta (eficiência do processamento), mas não nas taxas de acerto (eficácia no desempenho). O estudo sugere que indivíduos com alta ansiedade tem uma tendência de exercer controle de atenção de forma reativa/transiente, isto é, somente quando o conflito é encontrado no processamento (após os ensaios incongruentes). Já indivíduos com baixa ansiedade, exercem o controle da atenção de forma proativa, mantendo os objetivos da tarefa ao longo do tempo.</p>
<p>Núñez Peña e Suárez Pellicioni et al. (2014b)</p>	<p>53 participantes adultos</p>	<p>Os participantes foram apresentados a pares de algarismos indo-arábicos e solicitados a decidir qual deles apresentavam maior magnitude numérica, enquanto eram monitorados pela medida de reatividade eletrofisiológica- PER (Potencias de Eventos Relacionados)</p>	<p>Notou-se que o efeito da distância do ERP apresentou maior amplitude no grupo de Alta Ansiedade Matemática.</p>	<p>Indivíduos com Alta Ansiedade Matemática tem uma representação menos precisa de Magnitude numérica.</p>
<p>Núñez-Peña e Suárez Pellicioni (2015)</p>	<p>34 estudantes universitários</p>	<p>Os estudantes foram solicitados a calcular e verificar se equações envolvendo adições de dois dígitos eram verdadeiras ou falsas, enquanto eram monitorados por sensores de EEG.</p>	<p>Foi encontrada uma amplitude no componente P2 tanto na fase de cálculo quanto na fase de verificação. Essa amplitude é eliciada em resposta a estímulos que provocam sentimentos negativos, sendo considerada um indicador de que esteja ocorrendo uma mobilização de recursos atencionais (CARRETIÉ et al., 2004)</p>	<p>Indivíduos com alta ansiedade matemática precisaram investir mais recursos atencionais para realizar tarefa aritmética; no entanto, ainda precisaram de mais tempo e cometeram mais erros na resolução da tarefa de verificação em relação a seus homólogos com baixa ansiedade. Notou-se também que soluções incorretas foram mais plausíveis para o grupo de alta ansiedade, em comparação com seus pares menos ansiosos. Este achado está em acordo com a Teoria do Controle Atencional de Eysenck,</p>

				mostrando que a ansiedade matemática impactou a eficácia do desempenho (nível de desempenho) e também na eficiência de processamento (tempo para processar a tarefa)
Klados et al. (2015)	32 estudantes universitários	Os participantes resolveram quatro tipos de problemas aritméticos (adição e multiplicação de um e dois dígitos) e uma tarefa de memória de trabalho composta por três níveis de dificuldade, enquanto eram monitorados por medidas de reatividade eletrofisiológica- PER (Potenciais de Eventos Relacionados)	Foi notada uma amplitude reduzida de ERP nos locais frontocentral e centroparietal dos indivíduos ansiosos durante os estágios iniciais de processamento da tarefa.	As evidências confirmaram que as diferenças significativas entre indivíduos com alta e baixa ansiedade matemática estão localizadas principalmente no córtex pré-frontal. Sabe-se que o córtex frontal está associado à Memória de Trabalho e na organização de objetivos cognitivos (MIYAKE et al., 2000 ; FUSTER, 2002). Os dados informam ainda que os efeitos da AM estão associados à menor ativação cortical durante estágios iniciais do processamento de estímulos numéricos no contexto de tarefas cognitivas.
Pletzer et al. (2015)	36 participantes adultos	Os participantes realizaram tarefas não numéricas (rotação mental e raciocínio verbal), tarefas de comparação de números e tarefas de bisettriz do número enquanto eram monitorados por RMf.	Observou-se um aumento na desativação da Rede de Modo Padrão (RMP), relacionado ao controle atencional.	A AM prejudica a desativação da RMP durante tarefas matemáticas, indicando uma redução na eficiência de processamento. Os indivíduos com Alta Ansiedade Matemática precisam de maior esforço para controlar respostas emocionais negativas para alcançar um desempenho comparável aos indivíduos com baixa ansiedade. Esse resultado corrobora com o paradigma da Teoria do Controle Atencional, proposta por Eysenck e Calvo, 2007.
Klados et al. (2017)	33 estudantes universitários	Os estudantes ficaram em repouso antes de serem apresentados a quatro tipos de problemas aritméticos (adição e multiplicação	Foi observada uma atividade mais intensa nas bandas de EGG (Alpha, Beta, Gama, Delta e Theta) dos indivíduos com alta ansiedade matemática.	As evidências sustentam mudanças na rede cerebral de indivíduos com alta ansiedade matemática durante a fase de antecipação da tarefa

		de um e dois dígitos) e uma tarefa de memória de trabalho composta por três níveis de dificuldade. Eles estavam cientes das tarefas. A atividade cerebral durante o repouso foi mensurada por EEG multicanal.		matemática, o que pode ser interpretado como um sinal de organização mais intensa da rede cerebral desses indivíduos. Segundo os autores, a ativação da banda delta pode ser resultado da inibição de outros processos que interferem na resolução de tarefas matemáticas. A conectividade da banda theta pode ser explicada como uma forte assinatura emocional advinda da expectativa de participar de um programa relacionado à matemática. As bandas Beta e Gama podem estar relacionadas a rede de dor ativada, como mostrado por Lyons e Beilock, em estudo anterior.
Chang et al. (2017)	48 participantes adultos	Os participantes verificaram se problemas aritméticos simples do tipo $a + b = c$ ou $a - b = c$ estavam resolvidos corretamente enquanto eram monitorados por fMRI.	A rede de atenção frontoparietal (giro frontal inferior e lóbulo parietal superior) foi associada ao desempenho de indivíduos com ansiedade de matemática	Os indivíduos com alta ansiedade matemática quando comparados com seus pares menos ansiosos, tiveram melhor desempenho quando ativaram menos a rede de atenção frontoparietal. Isso quer dizer que alguns indivíduos ansiosos à matemática podem recrutar recursos de controle cognitivo para regular respostas emocionais negativas associadas a situações matemáticas, mesmo quando a tarefa de matemática não for necessariamente complexa. Da mesma forma, a ativação dessa rede pode ser reflexo de um esforço aumentado ou eficiência diminuída ao processar informações numéricas. As evidências também mostram que indivíduos com alta ansiedade matemática podem abordar os problemas matemáticos de maneira diferente dos indivíduos com baixa

				ansiedade matemática. De um modo geral, estudantes que experimentam altos níveis de AM podem se beneficiar de práticas de sala de aula que ajudem os alunos a regular suas emoções negativas e a desenvolver fluência na recuperação de fatos aritméticos simples.
Pizzie e Kraemer (2017)	40 estudantes universitários	Os participantes são expostos a imagens envolvendo símbolos neutros e símbolos matemáticos, enquanto são monitorados por fMRI	Ocorreu um aumento na reatividade da amígdala dos indivíduos com alta ansiedade matemática, em resposta a breve apresentação de estímulos matemáticos.	A ativação da amígdala após apresentação de estímulos matemáticos vem ilustrar que indivíduos com alta ansiedade matemática apresentam uma assinatura neural associada a ameaça e vigilância, mesmo quando não precisam antecipar ou se esforçar para resolver problemas matemáticos difíceis. Esses resultados corroboram as evidências de Young et al (2012), ampliando para indivíduos jovens.

Quadro 2- Literatura Neurocientífica sobre os correlatos Neurais da Ansiedade Matemática. Os estudos estão organizados pelo nome de seus pesquisadores, pelo tamanho da população, pelos procedimentos realizados, por seus correlatos neurais e por suas implicações. Fonte: Pubmed (National Library of Medicine National Institutes of Health dos EUA) e ERIC (Education Resources Information Center)

De acordo com a revisão da literatura, notou-se que em indivíduos altamente ansiosos à matemática, estímulos aversivos (isto é, os números) contribuem para reduzir a capacidade de recursos na memória de trabalho, que poderiam ser alocados para a tarefa cognitiva. Como os números estão vinculados a própria tarefa matemática em si, pode-se supor que esses indivíduos, ao se preocuparem com o conteúdo emocional dos estímulos, reduzem recursos na memória operacional, prejudicando o desempenho, principalmente em tarefas de alta demanda cognitiva.

Déficits na função inibitória também foram considerados como um mecanismo subjacente da AM no desempenho. As áreas cerebrais relacionadas ao controle atencional (por exemplo, o Córtex Pré-Frontal Dorsolateral – DLPFC e a Rede de Modo padrão- RMP) tem sido associadas a eficiência de processamento (FALES et al., 2008). Quanto maior a ativação nessas regiões, maior a resposta de controle atencional. Notou-se, entretanto, que indivíduos com alta ansiedade matemática tiveram atividades reduzidas no DLPFC (YOUNG et al., 2012, PLETZER et al., 2015) e aumento na desativação da Rede de Modo Padrão- RMP (PLETZER, 2015). Conforme Anticevic et al. (2010) e Sambataro et al. (2010), a diminuição de atividades em áreas da Rede de Modo Padrão indica um aumento na ativação de áreas de controle cognitivo (uma vez que elas são inversamente proporcionais). Por conta disso, percebe-se que indivíduos com Alta ansiedade Matemática apresentam controle atencional insuficiente, afetando de modo particular tarefas que requerem atenção à tarefa.

Em síntese, os poucos estudos conduzidos por fMRI mostraram que pelo menos duas redes estão envolvidas na resposta emocional da Ansiedade Matemática: a rede do medo e a rede da dor. Sugere-se que os déficits de desempenho matemático em indivíduos com Alta Ansiedade Matemática estão associados a atividades nessas regiões cerebrais, comumente envolvidas na regulação de emoções negativas, assim como em regiões subcorticais relacionadas a fatores motivacionais (LYONS E BEILOCK, 2012; ARTEMENKO et al., 2015). Isso implica que tais indivíduos podem superar seus déficits de desempenho aprendendo a controlar essa resposta emocional negativa, mesmo que a manipulação numérica envolva custos significativos de carga de trabalho.

Desconhecido, entretanto, são os mecanismos subjacentes da Ansiedade Matemática no Sistema Nervoso Autônomo- SNA, particularmente aqueles relacionados à Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) que reflete um dos principais marcadores extrínsecos do SNA. Sobre a VFC, discutiremos sobre seus conceitos, interações e associações no tópico seguinte.

1.5.Variabilidade da Frequência Cardíaca

Toda emoção, pensamento e atitude, tem uma atividade fisiológica que influencia continuamente nossa experiência emocional (MCCRATY, 2006). Com o avanço da psicofisiologia- a área que se preocupa com as inter-relações entre sistemas fisiológicos, cognitivos, emocionais e comportamentais- diversas pesquisas procuraram investigar quais variáveis fisiológicas seriam mais sensíveis e correlacionadas a estados emocionais. Considerando os distintos sistemas corporais envolvidos no processamento de emoções (como frequência cardíaca [FC], eletroencefalograma, respiração e condutância da pele), esses estudos descobriram que as flutuações naturais produzidas no coração, conhecidas como Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC), tiveram associação direta com diferentes estados emocionais subjetivos, mostrando-se confiável quando repetido em diferentes momentos e em distintas populações (MCCRATY e TOMASINO 2006; MCCRATY, 2006; LANE et al., 2009; THAYER et al., 2012).

Conceitualmente, a Variabilidade da Frequência Cardíaca descreve as oscilações entre os batimentos cardíacos consecutivos ao longo do tempo, denominados intervalos R-R, que estão associados, por sua vez, aos processos dinâmicos que ocorrem no Sistema Nervoso Autônomo- SNA (Figura 9). Uma VFC de natureza caótica está associada, geralmente, a sistema cardiovascular saudável que reflete adaptabilidade, sendo esta, entendida como a capacidade de responder a estímulos imprevisíveis colocadas pelo ambiente externo e interno (BECKERS et al., 2006).

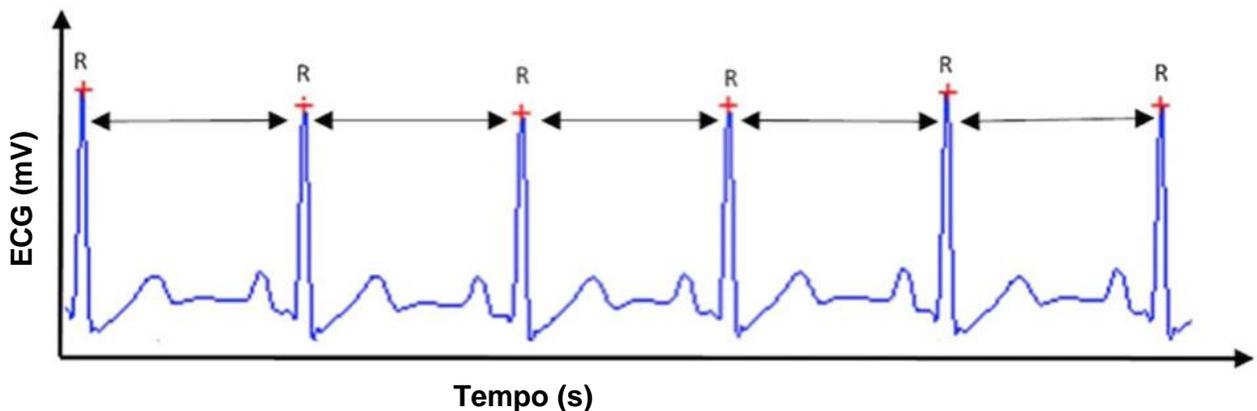


Figura 9- Variabilidade da Frequência Cardíaca- Visualiza-se as oscilações entre vários picos R-R consecutivos ao longo do tempo, a partir do sinal extraído de eletrocardiograma- EEG (LABORDE et al., 2017).

Da dupla autonômica que compõe o SNA (Sistema Nervoso Simpático- SNS e Sistema Nervoso Parassimpático-SNP), a VFC parece refletir fortes influências da atividade parassimpática³ (CHAPLEAU e SABHARWAL, 2011), de tal modo que o nervo vago (principal nervo do SNP) é capaz de regular o funcionamento cardíaco (LABORDE et al., 2018)- o chamado controle cardíaco vagal- sendo sua atividade associada positivamente com uma ampla gama de mecanismos de auto regulação cognitiva, emocional, social e patológica (PORGES, 2007; MCCRATY e SHAFFER, 2015).

O nervo vago ganha protagonismo em distintas teorias que buscam compreender as implicações da VFC nas pesquisas psicofisiológicas (SHAFFER et al., 2014), como por exemplo, a Teoria Polivagal (PORGES, 2007) e o modelo de integração neurovisceral (THAYER et al., 2012)

A Teoria Polivagal (PORGES, 2007) fornece direções sobre a natureza adaptativa de estados fisiológicos, sugerindo que esses estados suportam diferentes tipos/classes de comportamento. Segundo seus fundamentos, um estado fisiológico associado a redução do tônus vagal suportaria comportamentos de mobilização de luta e fuga; em contraste, um estado fisiológico caracterizado pelo aumento da influência vagal, poderia ser interpretado como comportamento de engajamento social, ao qual Porges compreende como a capacidade de autorregulação frente a diversas situações estressoras.

Contudo, o sistema de auto regulação depende do que a teoria metaforicamente chama de freio vagal, que está associado a mielinização das fibras no vago⁴. Em outros termos, a teoria infere que as fibras mielinizadas do nervo vago permitem a autorregulação e a capacidade de se acalmar e inibir o fluxo simpático para o coração; entretanto, em condições opostas, as fibras não mielinizadas do vago promovem respostas de impotência ou baixa flexibilidade na lida com estressores ambientais. Assim, Porges propõe que o tônus vagal na VFC pode ser visto como marcador fisiológico (ou uma janela de observação) de flexibilidade da regulação emocional e de vulnerabilidade ao estresse (PORGES, 2011, SHAFFER et al., 2014).

Os fundamentos do modelo Polivagal vem sendo utilizados para compreender o comportamento da ansiedade e do stress na VFC (FRIEDMAN, 2007), além de funções executivas

³ Enfatizamos que a atividade parassimpática, ligada ao equilíbrio vago-simpático, também será denominada como “tônus vagal”, considerando o papel do nervo vago em sua dinâmica.

⁴ Mielinização neuronal corresponde a bainha de mielina, substância “gordurosa” que isola a membrana celular do neurônio.

centrais (MATHER e THAYER, 2018). Diferentemente de perspectivas anteriores, que enfatizavam o sistema nervoso simpático, negligenciando o parassimpático, o modelo polivagal protagoniza o papel do tônus vagal, que tem sido cada vez mais relacionado à função cardíaca saudável. Assim, redução do tônus vagal e da Variabilidade da Frequência Cardíaca tem sido associados a estados ansiosos e estressantes, indicando baixa auto regulação, flexibilidade autonômica e adaptabilidade.

A esse respeito, resultados de estudo recente comparando adolescentes do sexo masculino e feminino, sugerem que mulheres que apresentam menor VFC podem ser mais vulneráveis aos transtornos de ansiedade (FIOL-VENY et al., 2018). Maior VFC parece ter um papel protetor aos déficits de função executiva ao melhorar o controle da atenção em indivíduos com alta ansiedade, sugerindo-a como um indicador do controle inibitório exercido pelo córtex frontal (RAMÍREZ et al., 2015; THAYER et al., 2009) e biomarcador de auto regulação: habilidade de regular o comportamento, emoções e cognição (HOLZMAN e BRIDGETT, 2016). Outros achados informam que diferenças individuais na Variabilidade da Frequência Cardíaca predizem o desempenho cognitivo (HANSEN et al., 2003). No entanto, nenhum estudo, até o momento, examinou a resposta da VFC em indivíduos com Ansiedade Matemática.

O estudo de Sharma et al. (2011) investigou durante o repouso, a VFC em crianças com transtornos de ansiedade (grupo desordem) em relação a crianças saudáveis (grupo controle), constatando uma variabilidade significativamente reduzida no grupo ansioso. Índices lineares da VFC no domínio do tempo, ligados a atividade parassimpática, como RMSSD, NN50 e PNN50 (para melhor apropriação consultar a seção 1.7) apresentaram valores reduzidos no grupo desordem. Para o domínio da frequência, índices como LF e HF também se mostraram menores para o grupo de crianças ansiosas durante o repouso. Esses resultados indicam decréscimos nas atividades simpáticas e, principalmente, parassimpáticas, representando uma VFC diminuída e sustentando a noção de inflexibilidade autonômica em crianças com transtorno de ansiedade.

Outras correntes emergentes de pesquisa vêm sugerindo a utilidade da dinâmica não linear da VFC (ao invés da linear) na avaliação da ansiedade (OH e CHAE, 2018) e na detecção de estresse (MELILLO et al., 2011). Por exemplo, o estudo de Dimitriev et al. (2016) procurou investigar se as mudanças na ansiedade-estado de estudantes universitários modulariam a dinâmica não linear da VFC, considerando uma condição de repouso e uma condição de exame acadêmico. Os autores encontraram reduções significativas nas medidas de entropia (ApEn e SampEn) e

plotagem de Poincaré, bem como aumento na análise de flutuação retificada ($DFA_{\alpha 1}$) e no expoente de Lyapunov (LLE) durante a sessão de exame. De modo geral, os achados de Dimitriev (2016) sugerem que a ansiedade-estado tem efeito predominantemente inibitório na atividade parassimpática dos participantes em situações de exame.

Considerando situações estressoras, Vuksanović e Gal (2007) avaliaram o impacto do estresse mental aritmético na VFC em indivíduos saudáveis, constatando que durante o estresse, o índice linear de alta frequência (HF) que está associado ao tônus vagal, foi reduzido e acompanhado pelo aumento do índice não linear $DFA_{\alpha 1}$, que indica menor variabilidade da frequência cardíaca; além da redução nos índices não lineares de complexidade, como o SampEn, que indicam baixas respostas adaptativas em relação a situação estressora. As evidências trazidas por esse estudo reforçam a importância da atividade parassimpática na avaliação do estresse na VFC e realizam associações importantes entre suas medidas lineares e não lineares, indicando as últimas como índices mais reveladores de condições de estresse pela qual os índices lineares se mostram limitados.

Melillo et al. (2011), por sua vez, propuseram que as características não lineares da VFC, particularmente aquelas relacionadas a complexidade da frequência cardíaca, podem ser consideradas como classificadoras de detecção automática de estresse. Os registros para VFC foram monitoradas por ECG em duas sessões, sendo a primeira durante exame universitário (entendido como um estressor de vida real) e a segunda, após feriado. Os resultados apontaram que quase todas as características da VFC medindo a complexidade da frequência cardíaca foram significativamente reduzidas na sessão do exame, sugerindo que o uso de registro de ECG de curto prazo, considerando índices de complexidade, podem ser eficazes na detecção de estresse da vida real.

A Variabilidade da Frequência Cardíaca parece indexar não apenas processos de regulação emocional, como aqueles em que o indivíduo se mostra resiliente em condições de estresse, mas também a fadiga auto reguladora, ligada a má regulação emocional, baixa adaptabilidade e flexibilidade (SEGERSTROM e SOLBERG NES, 2007; FRIEDMAN, 2007)- habilidades importantes quando se enfrenta desafios exigentes, como um teste, por exemplo. A VFC, portanto, é diretamente responsiva nas mudanças de estados emocionais (SHAFFER e GINSBERG, 2017).

Por fim, as medidas não-lineares da VFC também têm sido fortemente associadas à cognição e ao humor e ativação correspondente em regiões cerebrais específicas, constituindo uma

nova maneira de relacionar a variabilidade ao comportamento e ao funcionamento cerebral (YOUNG e BENTON, 2018). Acerca da relação entre VFC e sua interação entre coração e cérebro, discutimos no tópico seguinte.

1.6. VFC e o modelo de integração neurovisceral

O coração possui um sistema nervoso de funcionamento independente (SHAFFER et al., 2014) e se comunica com o cérebro a partir de uma rede sistêmica muito mais extensa que outros órgãos principais (CAMERON, 2002), sendo considerado, portanto, gerador vital de padrões rítmicos que afetam funções cerebrais e o corpo como um todo. A VFC, como o estudo desses padrões rítmicos, reflete um dos principais marcadores extrínsecos do sistema nervoso autônomo (CONTRERAS et al., 2007; TSUJI et al., 1996), capaz de estabelecer interações dinâmicas com o cérebro. À estas interações, Thayer e Lane (2000) formularam o modelo de integração neurovisceral, onde pressupõe uma conexão entre o córtex pré-frontal e o coração através da rede autonômica central. Com o avanço dos estudos em neuroimagem, esse modelo foi revisto e atualizado (THAYER e LANE, 2009, SMITH et al., 2017).

Estudos não invasivos de estimulação do córtex pré-frontal demonstraram o papel modulador deste sobre a VFC (BRUNONI et al., 2013, NIKOLIN, 2017). O córtex pré-frontal é a estrutura de alto nível hierárquico em uma rede de controle autonômico que envolve, resumidamente, o córtex cingulado anterior, ínsula, hipotálamo, amígdala e tronco cerebral. Estruturas do sistema límbico, que compõem essa rede, são tonicamente inibidas pelo córtex pré-frontal, suprimindo a atividade simpática e ativando o tônus parassimpático (figura 10) (THAYER e LANE, 2009).

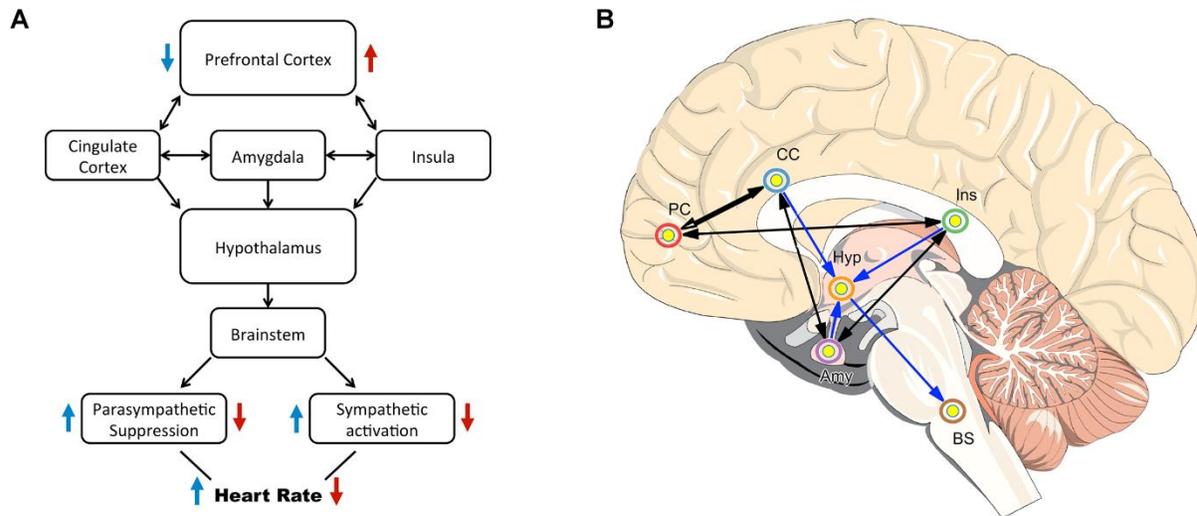


Figura 10- Modelo de integração neurovisceral. A) esquema resumido da rede central envolvida na regulação da variabilidade da frequência cardíaca. Setas azuis indicam redução da atividade no córtex pré-frontal que ocasionara aumento da frequência cardíaca pelo aumento da supressão parassimpática e ativação simpática. Setas vermelhas indicam aumento da atividade do córtex pré-frontal, aumentando o tônus vagal e reduzindo a atividade simpática que levaria a redução da frequência cardíaca. B) Ilustra a neuroanatomia das conexões recíprocas (setas pretas) e eferências (setas azuis) que regulam a VFC. PC – Córtex pré-frontal, CC – córtex cingulado, Ins – ínsula (representação no eixo anteroposterior), Hyp – hipotálamo, Amy – amígdala (localizada anteriormente no lobo temporal), BS – bulbo. Adaptado de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181833.g001>.

O coração por sua vez possui neurônios motores, sensoriais e interneurônios em uma organização complexa e extensa que envia eferências (nervo vago e simpáticos) ao SNC influenciando não só o ritmo cardíaco, mas também funções superiores relacionadas as estruturas da rede neurovisceral (para revisão ver SHAFFER, MCCRATY e ZERR, 2014). Os sinais cardíacos afetam regiões de regulação autonômica, como a medula, e outras redes de processamento emocional e cognitivos, como o tálamo, amígdala e o córtex. É através desses caminhos que a atividade fisiológica do coração impacta continuamente distintos aspectos das funções cerebrais como atenção, motivação, sensibilidade perceptual e processamento emocional, determinando nossas percepções e experiências emocionais (LANE et al., 2009; MCCRATY et al., 2006; RICHARD, 2009, YOUNG e BENTON, 2018).

Outra evidência interessante da interrelação da comunicação cérebro-corção é o modelo de coerência cardíaca ou ressonância. A VFC é caracterizada por um comportamento caótico de sua representação temporal e esse comportamento pode ser alterado a partir de modificações no ritmo respiratório que produziria uma sincronia sinusoidal em torno de 0,1 Hz (figura 11), e essa coerência fisiológica proposta por McCraty e Shaffer (2012) seria preditora do processo de autoregulação.

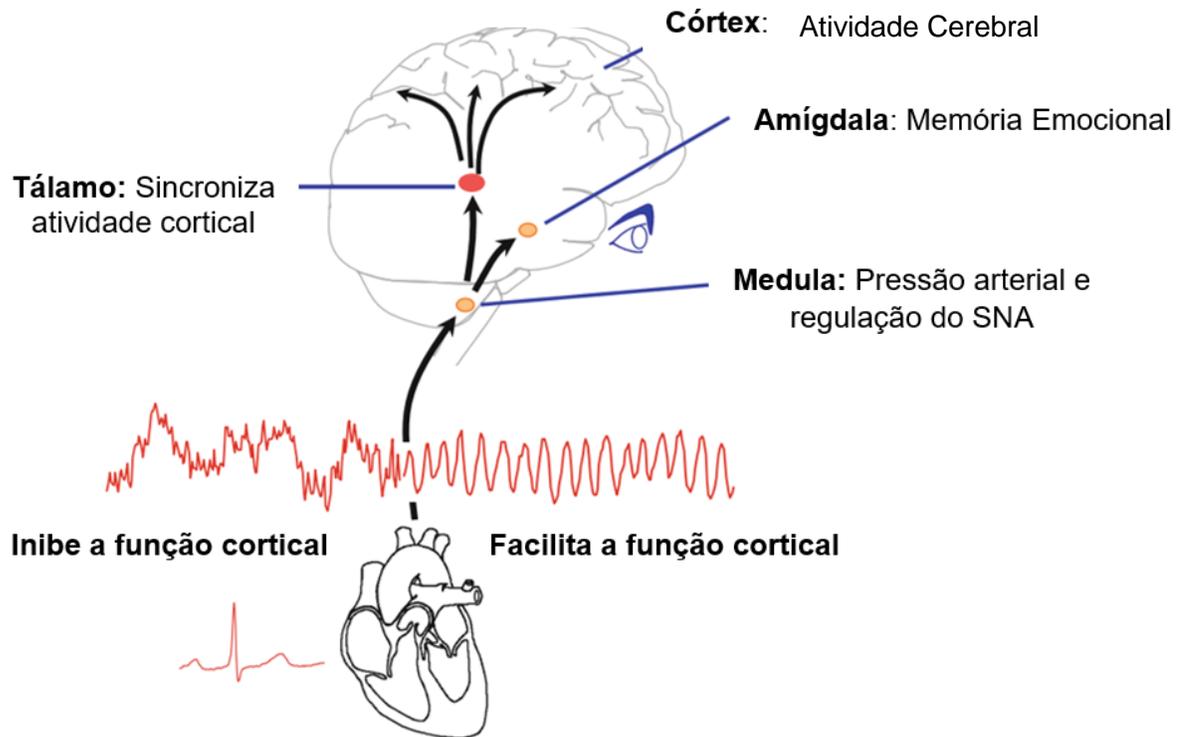


Figura 11- Diagrama das vias aferentes pelas quais informações do coração e do sistema cardiovascular modulam a atividade cerebral. Observe que dependendo da experiência emocional (positiva ou negativa), a VFC pode se tornar mais errática (lado esquerdo) ou mais sincronizada (lado direito). Essas conexões podem afetar circuitos de processamento emocional como a amígdala, facilitando ou inibindo a função cortical. Assim, as emoções, refletidas nos padrões da VFC, afetam funções cognitivas e emocionais no cérebro. (adaptado de Bradley et al., 2010).

A autorregulação no cérebro é possível graças a um sistema inibitório promovido pelo córtex pré-frontal que em condições normais, inibe a atividade sobre circuitos subcorticais simpato-excitatórios (como a amígdala), fornecendo por sua vez, entradas inibitórias ao coração (PARK et al., 2013; THAYER et al., 2009; para uma revisão, ver THAYER et al., 2012). Entretanto, em condições adversas e ameaçadoras, a regulação inibitória pré-frontal, diminui, afetando os circuitos simpato-excitatórios e ativando mecanismos de defesa, hiper vigilância e cognição perseverativa, como por exemplo, preocupação ou ruminação.

Pesquisas conduzidas anteriormente, mostraram que durante experiências negativas envolvendo estresse, frustração e ansiedade, por exemplo, a atividade do coração apresenta um padrão mais errático e desordenado (figura 11, esquerda), o que pode ser interpretada como uma menor sincronização entre os sistemas simpáticos e parassimpáticos. Essa dessincronização no Sistema Nervoso Autônomo, se mantida, sobrecarrega o sistema nervoso e inibe funções cognitivas superiores (LANE et al., 2001) ao mesmo tempo que reforça sentimentos de estresse emocional

(MCCRATY, 2006). Por outro lado, experiências positivas produzem um padrão mais ordenado e estável (figura 11, direita), indicando maior sincronização entre os ramos simpáticos e parassimpáticos, contribuindo com funções cognitivas e refletindo estabilidade emocional e equilíbrio autonômico a partir do aumento da atividade parassimpática (MCCRATY, 2006).

1.7.VFC e suas métricas

Em termos de suas métricas, a VFC pode ser descrita em tempos longos de 24h, curta duração (~ 5 min) e ultracurta duração (<5 min.) a partir da aplicação de métodos lineares - usando medidas no domínio do tempo e da frequência- e métodos não lineares (SHAFFER e GINSBERG, 2017). No “domínio do tempo”, determinados índices de VFC quantificam estatisticamente a quantidade de variabilidade nas medições do intervalo RR. No “domínio da frequência”, outros índices mensuram a potência absoluta e relativa da variabilidade em quatro bandas de frequência: frequência ultra baixa- ULF ($\leq 0,003$ Hz) frequência muito baixa- VLF (0,00 a 0,04 Hz), baixa frequência- LF (0,04 a 0,15 Hz) e alta frequência- HF (0,15-0,40 Hz). Por fim, medidas não lineares possibilitam a quantificação da imprevisibilidade e complexidade da VFC, a partir da análise de sistemas dinâmicos determinísticos (ver quadro 3).

Medidas Lineares e Não Lineares da VFC			
	Parâmetro	Descrição	Origem Fisiológica
Domínio do Tempo	SDNN	Desvio padrão dos intervalos RR normais (removidos os artefatos)	componentes cíclicos responsáveis pela variabilidade da frequência cardíaca.
	RMSSD	Média quadrática das diferenças dos intervalos RR sucessivos	Tônus vagal.
	pNN50	Porcentagem de intervalos RR sucessivos que diferem em mais de 50 ms;	Tônus Vagal.
Domínio da Frequência	ULF	Frequência ultrabaixa	Oscilações circadianas, temperatura corporal central.
	VLF	Frequência Muito Baixa	Mecanismos regulatórios de longa duração, mecanismos hormonais e termo regulatórios.
	LF	Baixa Frequência	Misturas de atividade simpática e vagal com predomínio do simpático, atividade barorreflexo.
	HF	Alta Frequência	Tônus Vagal.
Índices Não Lineares	SD1	Desvio Padrão- Plot de Poincaré Transversalmente	Não está claro, retrata mudanças rápidas e de alta frequência na variabilidade da frequência cardíaca.
	SD2	Desvio Padrão- Plot de Poincaré Longitudinalmente	Não está claro, retrata mudanças de longa duração na variabilidade da frequência cardíaca.
	ApEn	Entropia Aproximada	Retrata regularidade e complexidade ligadas a flexibilidade e adaptabilidade.
	SampEn	Entropia de Amostra	Retrata regularidade e complexidade ligadas a flexibilidade e adaptabilidade
	DFAa1	Expoente de Escala fractal de curto prazo- Análise de flutuação retificada	Mede flutuações de curto prazo, onde valores baixos indicam maior variabilidade.

Quadro 3- Medidas Lineares e não Lineares da VFC- Organizadas de acordo com seus domínios e dinâmicas, suas descrições e sua origem fisiológica (conforme LABORDE et al., 2017).

Conforme observado no quadro 3, uma variedade de medidas operacionaliza a VFC. Medidas de curto prazo de 5 minutos como a raiz quadrada da média das diferenças RR sucessivas (RMSSD) tem sido utilizadas e reflete o tônus vagal; análises espectrais no domínio do tempo são frequentemente usadas para quantificar a VFC; O espectro de frequência de curto prazo, como os componentes principais HF e LF, refletem, respectivamente, o tônus vagal, e uma mistura de influências vagais e simpáticas com predomínio simpático (embora ainda aja uma certa controvérsia a esta interpretação na literatura). RMSSD, pNN50 e o espectro de potência de alta

frequência (HF) estão intimamente relacionados e refletem o tônus vagal (LABORDE et al. 2017; SHAFFER e GINSBERG, 2017).

Dentre as técnicas matemáticas não lineares que quantificam a dinâmica fisiológica da VFC, cita-se o Poincaré Plot (SD1, SD2, SD1/SD2), Entropia Aproximada (ApEn), Entropia de Amostra (SampEn) e Análise de Flutuação Retificada (DFA α 1 e DFA α 2).

Uma plotagem de Poincaré é um método geométrico que converte cada intervalo RR em padrões geométricos (figuras), criando gráficos de dispersão (SHAFFER e GINSBERG, 2017). Sua análise pode ser realizada de modo qualitativo, a partir da avaliação gráfica que mostra o grau de complexidade da VFC; ou de maneira quantitativa, ajustando uma elipse ao gráfico formado, derivando três medições não lineares: SD1, SD2 e a razão SD1/SD2.

O SD1 é considerado um índice parassimpático (MOUROT et al., 2004) relacionado a sensibilidade do barorreflexo (mecanismo para o controle batimento-a-batimento da pressão arterial), podendo ser mensurado a curto prazo em ms. Matematicamente, refere-se a largura da elipse ajustada, consistindo no desvio padrão (portanto, SD) da distância de cada ponto do eixo $y = x$ (SD1). O SD2 é influenciado tanto pelo tônus simpático quanto pelo parassimpático (DE VITO et al., 2002), consistindo no desvio padrão de cada ponto médio do intervalo RR (x_2) de $y = x + (SD2)$, referindo-se ao comprimento da elipse ajustada. O SD2 relaciona-se à potência de baixa frequência (LF) e a sensibilidade do barorreflexo. A razão SD1/SD2, associa esses dois componentes, medindo a imprevisibilidade da série temporal RR, correlacionando-se com a razão LF / HF (medidas lineares no domínio da frequência).

Outras medidas não lineares, avaliam a complexidade (ou seu oposto, regularidade) dos intervalos RR. Entende-se complexidade como representando a capacidade fisiológica subjacente de fazer adaptações às tensões cotidianas colocadas no corpo humano. Em outros termos, quanto maior a complexidade, maior o alcance das respostas adaptativas. Quando o organismo é perturbado ou se desvia de um determinado conjunto de condições de contorno, a maioria dos sistemas fisiológicos operam em um modo de resposta menos complexo (LIPSITZ, 2002).

A Entropia Aproximada- ApEn é sugerida como medida de regularidade que dimensiona a complexidade dentro de uma série temporal (PINCUS, 1994). Em outros termos, ela mensura a probabilidade (logarítmica) de padrões próximos permanecerem próximos em comparações posteriores, considerando um número “m” de observações. Quanto maior a probabilidade da permanência de padrões nos intervalos RR, mais regular e previsível será a série temporal e menor

será o valor da ApEn (BECKERS e RAMAEKERS, 2001). Baixo valor das taxas de entropia está relacionado a doença e envelhecimento (PINCUS, 1992; KAPLAN et al., 1991).

A Entropia Aproximada pode ser mensurada a partir de uma quantidade pequena de dados, com N entre 10 m e 30 m pontos de dados, devendo-se atentar a correção de seus parâmetros de entrada r, m e N, onde m representa o comprimento das sequencias a serem comparadas, r a tolerância para aceitar correspondências e N o comprimento da série temporal (RICHMAN e MOORMAN, 2000). Goldberger et al., (1994) demonstrou que uma boa validade estatística para a apEn pode ser encontrada com valores de r entre 0,1 a 0,25 vezes o desvio padrão da série temporal, juntamente a um valor m igual a 2 e N entre 10 m e 30 m pontos de dados (BECKERS e RAMAEKERS, 2001; GOLDBERGER et al., 1994; PINCUS e GOLDBERGER, 1994).

A ApEn advinda de EEG tem sido associada a mudanças na ansiedade traço (DIMITRIEV et al., 2016), sugerida como fator preditivo de crises epiléticas (RADHAKRISHNAN e GANGADHAR, 1998; BURIOKA et al., 2005), além de ser considerada ferramenta útil para avaliar disfunção cerebral em indivíduos com Doença de Alzheimer (ABÁSULO et al., 2005). Considerando o Sistema Nervoso Autônomo, diz-se que a entropia aproximada se relaciona principalmente com a modulação vagal (BECKERS et al., 2001). As medidas de entropia de amostra (SampEn) são interpretados como a apEn, com a vantagem de ser calculada a partir de uma série temporal menor (RICHMAN e MOORMAN, 2000, SHAFFER e GINSBERG, 2017).

A análise de flutuação retificada (DFA), mede a correlação entre intervalos RR sucessivos, onde valores baixos indicam maior variabilidade. Flutuações breves resultam numa inclinação α_1 (DFA α_1) e se associam ao reflexo barorreceptor; flutuações de longo prazo descrevem um declive α_2 (DFA α_2) e refletem os mecanismos que regulam a flutuação do ciclo de batimento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os procedimentos metodológicos desenvolvidos nesse estudo foram submetidos e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal do Pará- Instituto de Ciências da Saúde, conforme parecer consubstanciado (anexo A) - CAAE: 76887417.2.0000.0018, número do parecer: 2.305.203, sendo conduzido de acordo com as resoluções e normativas do Conselho Nacional de Saúde (CNS).

2.1. Classificação quanto a abordagem de pesquisa

Essa pesquisa assume uma abordagem quanti-qualitativa, na medida que articula dimensões qualitativas e quantitativas em seu escopo. Visamos desse modo, estarmos alinhados ao que prenuncia Gamboa (2013), no que diz respeito a superação do dualismo técnico e a dicotomia epistemológica na produção do conhecimento educacional. Os caminhos metodológicos fundamentam-se em uma corrente empirista, construída a partir das perspectivas teóricas predominantes nos estudos sobre Ansiedade Matemática.

2.2. Caracterização dos participantes

Noventa e nove crianças (55 meninas e 44 meninos) do 5º e 6º ano escolar, foram recrutadas em uma escola pública federal, após os pais ou responsáveis assinarem Termo de Consentimento Livre e Esclarecido- TCLE (apêndice A). No total, 155 termos foram encaminhados, onde destes, apenas 104 foram devolvidos e 100 efetivamente autorizados. Um participante foi excluído das análises, por problemas de monitoramento na variabilidade da frequência cardíaca. Os pais dos participantes também preencheram uma ficha de anamnese (apêndice B) que nos permitiu realizar uma análise preliminar sobre as condições de saúde da criança. Foi estabelecido como critérios de exclusão, crianças que apresentassem distúrbios de aprendizagem matemático, como a discalculia ou cegueira e surdez de caráter progressiva, doença crônica cardíaca ou neurológica. Contudo, nenhum dos nossos participantes iniciais precisou ser excluído com base nesses critérios.

No dia anterior ao experimento, as crianças foram instruídas a se absterem de práticas de atividades físicas pesadas, além de evitar alimentos e bebidas cafeinadas, considerando sua interferência sobre a VFC (YERAGANI et al., 2005).

2.3. Delineamento do estudo

Todos os 99 participantes eram ingênuos quanto aos propósitos do estudo e responderam a Escala de Ansiedade Matemática Elementar (MARS-E), de Richard e Suin (1988) e a Escala Revisada de Ansiedade Manifesta em Crianças- 2ª edição (RCMAS-2), como parâmetros de definição de Ansiedade Matemática e Ansiedade Geral, respectivamente. Baseado nas pontuações brutas obtidas pelo primeiro instrumento (MARS-E), constituiu-se dois grupos de estudo: Grupo de crianças com Alta Ansiedade Matemática - HMA e Grupo de crianças com Baixa Ansiedade Matemática- LMA, considerando cada um dos anos escolares (figura 12). Essa classificação seguiu as instruções do instrumento, tendo como índice de corte para alta ou baixa ansiedade o percentual de 75% (conforme SUINN, 1988).

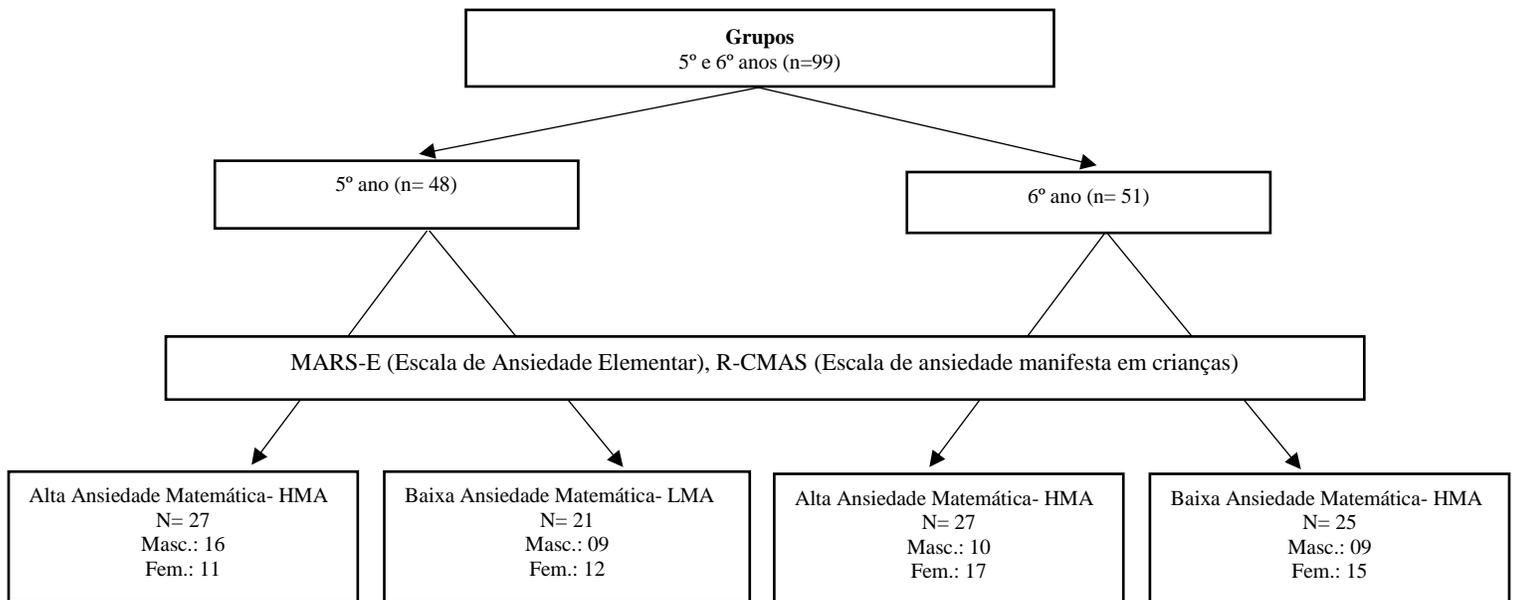


Figura 12- Distribuição dos grupos considerando os anos escolares. Legenda: HMA- Alta Ansiedade Matemática; LMA- Baixa Ansiedade Matemática.

O intervalo total de constituição dos dados junto aos alunos, durou aproximadamente 6 meses. O estudo foi replicado individualmente com cada criança em ambiente interno a própria escola dos participantes, livre de interferências externas e em temperatura e iluminação controlada. As sessões ocorreram concomitantemente ao turno de aula das crianças, em um intervalo médio de

25 minutos, conforme o desenho experimental abaixo, que envolveu os seguintes procedimentos: Repouso Inicial, Teste de Desempenho Matemático e Teste Cognitivo (figura 13).

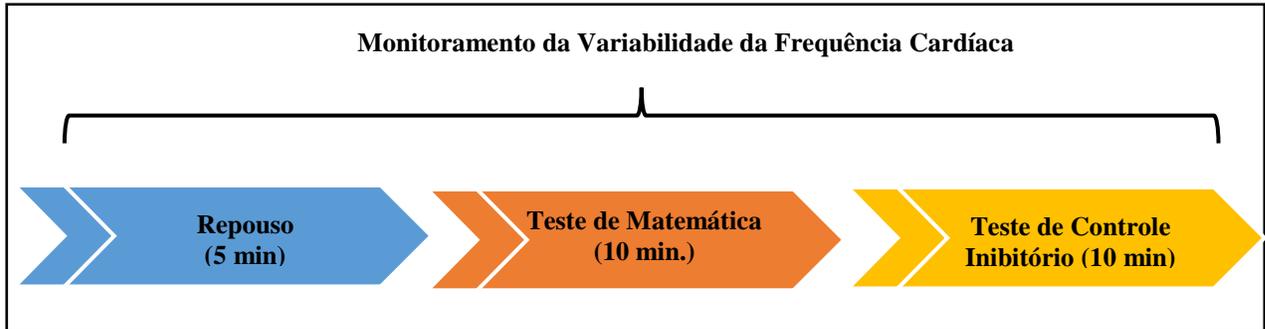


Figura 13- Desenho Experimental-. A variabilidade da Frequência Cardíaca foi monitorada durante todo o experimento.

2.4. Procedimentos específicos

2.4.1. Classificação quanto a Ansiedade Matemática

Uma semana antes de iniciarmos as sessões experimentais, os participantes responderam em suas respectivas turmas escolares, a Escala de Ansiedade Matemática Elementar- MARS-E de Richard Suin (1988), que foi escolhida como nossa medida de classificação de AM por ser amplamente citada na literatura internacional, mostrar bons índices de confiabilidade e robustas propriedades psicométricas. A escala foi aplicada pelo próprio pesquisador em parceria com outros membros da equipe de pesquisa (2 doutorandos e 1 estudante de iniciação científica). Os procedimentos de aplicação seguiram as instruções do próprio instrumento, descritos a seguir: as crianças deveriam ler individualmente a página inicial da escala que continham exemplos respondidos e outros onde elas deveriam simular. Os alunos eram incentivados a descrever o grau de ansiedade, conforme elas existiam naquele momento. Perguntávamos então, se persistiam dúvidas e na existência delas, novas orientações eram fornecidas. Após esse momento inicial, as crianças eram autorizadas a responderem as demais situações, sendo instruídas a marcar apenas uma opção, trabalhando o mais rápido possível, mas com precisão. Não foi estabelecido tempo limite para completar o questionário, sendo o tempo total de aplicação de aproximadamente 20 minutos.

O MARS-E consiste em uma escala de 26 itens do tipo likert de 1 a 5, desenvolvida para uso em crianças pré-adolescentes do quarto, quinto e sexto ano, que correspondia aos anos escolares de nosso interesse. A escala apresenta a criança situações capazes de lhe despertar ansiedade, de modo que elas teriam que decidir sobre o grau de ansiedade despertado, usando uma das cinco dimensões: nada nervoso, não muito nervoso, bastante nervoso, muito nervoso e extremamente nervoso (quadro 4). Uma vez decidido o nível de ansiedade associado ao item do teste, a criança marcava ao lado a opção que refletia essa decisão. Por exemplo:

	Nada nervoso	Não muito nervoso	Bastante nervoso	Muito nervoso	Extremamente nervoso
Marque o quão nervoso ou tenso você se sentiria se você tivesse que decidir se este problema está correto: $(3+4) + 2 = 4 + (2+3)$.	<input type="radio"/>				
Quando você é chamado pelo professor para resolver um problema de matemática no quadro. Quão nervoso você se sente?	<input type="radio"/>				

Quadro 4- Exemplo de questões da Escala MARS-E- A primeira situação indica uma situação de resolução de problemas e a segunda, uma situação que pode vir a ocorrer na aula.

A pontuação que define o grau de ansiedade matemática é calculada atribuindo pesos de 1 a 5 associados ao nível de ansiedade manifestada a cada uma das dimensões: sendo 1 para “nada nervoso” e 5 para “extremamente nervoso”, somando, posteriormente, todos os valores (as pontuações variam entre 0 e 130). Conforme o instrumento, uma pontuação entre 0 e 58 para crianças do 5º e 6º ano, reflete um baixo nível de Ansiedade Matemática. Uma pontuação superior a 58, pode ser interpretado como alto nível de Ansiedade Matemática. O instrumento foi traduzido para o português brasileiro por dois falantes fluentes em ambas as línguas, possibilitando uma adaptação transcultural e aplicado individualmente a todos os participantes. Um estudo piloto foi realizado, permitindo verificar a interpretação da escala traduzida e efetivar possíveis adaptações ao texto.

Conforme informado na sessão anterior, as pontuações brutas obtidas no MARS-E, foram os parâmetros utilizados para a classificação de nossos grupos de estudo. Cada ponto bruto tem equivalentes percentuais apropriados para a interpretação dos resultados, de modo que, se um aluno do sexto ano obtém uma pontuação igual a 59, por exemplo, esse resultado corresponde a 75% segundo a tabela a seguir, indicando que o aluno expressa uma grande quantidade de Ansiedade Matemática, sendo classificado no grupo HMA.

Percentil	Quarto ano	Quinto ano	Sexto ano	Todos os anos
10%	43	42	42	42
30%	47	46	46	46
50%	52	50	49	50
75%	63	59	57	60
95%	85	82	76	81

Fonte: Suinn (1988)

Tabela 1- interpretação de resultados do MARS-E, segundo uma escala de percentil

As crianças também responderam a Escala Revisada de Ansiedade Manifesta em Crianças, 2ª Edição (RCMAS-2) como medida de Ansiedade Geral. Trata-se de um instrumento de 37 itens com respostas do tipo sim ou não, definida em três domínios de ansiedade: Ansiedade Psicológica, Preocupação e Ansiedade Social. Sua aplicação ocorreu no mesmo dia e logo após a aplicação da escala MARS-E. Os alunos foram orientados pela equipe de pesquisadores a lerem cada uma das situações da escala e marcar uma das duas opções. O instrumento vem sendo utilizado desde 1956, quando Castaneda, McCandless e Palermo publicaram sua primeira versão, sendo posteriormente ampliada por Reynolds e Richmond e revisada recentemente pelos mesmos autores (REYNOLDS e RICHMOND, 2012) de modo a atender aos padrões psicométricos atuais. Tal instrumento foi adaptado para o português brasileiro por Gorayeb (2008), apresentando uma estimativa de confiabilidade KR20⁵ de 0,85.

2.4.2. Sessão Experimental

Os participantes foram testados individualmente em uma sessão experimental que durou aproximadamente 25 minutos. Ao entrar na sala onde ocorreram os ensaios, medidas antropométricas como peso e altura devidamente auferidas e catalogadas, juntamente com o controle para o uso de cafeína e prática de atividade física. Posterior a esse protocolo inicial, uma cinta com dois eletrodos, correspondente ao monitor de frequência cardíaca (Cardiofrequencímetro da marca Polar[®] V800) foi devidamente posicionada na região do tórax (próximo ao esterno) da criança permanecendo com ela durante todo o experimento. O monitor foi pareado via bluetooth

⁵ KR20 refere-se a uma técnica que estima a fidedignidade de mensurações qualitativas, proposto por Kuder e Richardson (1937). K e R referem-se as iniciais dos nomes dos autores e 20 representa a vigésima equação desenvolvida por eles.

ao display do cardiofrequencímetro, que foi devidamente filmado para fins de registro e auditoria posterior.

Os indivíduos eram convidados a sentarem-se em uma cadeira distante 50 cm de uma tela de computador que exibia em um fundo cinza, apenas uma cruz em seu centro. A criança olhava para essa tela durante 5 minutos enquanto sua frequência basal era verificada a partir do cardiofrequencímetro. Após o período de repouso inicial, o Teste de Desempenho Matemático era inicializado.

2.4.3. Teste de Desempenho Matemático

O Teste de Desempenho Matemático (TDM) consistiu em um teste aritmético mental, aplicado como instrumento de medida desse desempenho acadêmico. As questões foram modeladas segundo os critérios usados em estudos anteriores (LYONS e BEILOCK, 2012; SLOAN et al., 1991; BERNARDI et al., 2000), abaixo descritas, e baseadas em avaliações locais com a devida consulta aos professores, no intuito de resguardar as habilidades que vinham sendo desenvolvidas com os nossos participantes, uma vez que, a inclusão de outras habilidades que não aquelas que eles vinham sendo inicializados, poderia comprometer os resultados.

Por envolver processamento de números simbólicos com operações matemáticas (como subtração e multiplicação), situamos as questões do teste como “tarefas de cálculo”, diferindo, por exemplo, de “tarefas numéricas”, que não requerem cálculo formal (ARSALIDOU, 2017). Tais tarefas já foram investigadas a partir de seus impactos nas atividades neurais, constatando respostas em regiões específicas do cérebro⁶ (ARSALIDOU e TAYLOR, 2011) comumente dramáticas para indivíduos com Ansiedade Matemática, conforme discutido na sessão 1.4.

O TDM foi executado em um monitor de 24”, resolução de 1366x768 (pontos/linha) que exibia ao seu centro, em um fundo cinza, questões do tipo, $(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) - \mathbf{c} = ?$, com $a \neq b$, $c > 0$, onde as crianças tinham que verificar, via cálculo mental, qual a resposta correta da equação (ver figura 14), dizendo em voz alta o resultado. Um total de 20 equações foram apresentadas, distintas por nível de complexidade para sua resolução: sendo 5 questões de baixa complexidade com pouco custo cognitivo, 10 questões de média complexidade com médio custo cognitivo e 5 questões de

⁶ Tarefas de cálculo e numéricas provocam respostas cerebrais em regiões como o lóbulo parietal inferior e o córtex frontal inferior; e áreas pré frontais como giros frontais médio e superior (essas, especificamente para tarefas de cálculo) (ARSALIDOU E TAYLOR, 2011)

alta complexidade com alto custo cognitivo. Essas últimas, dependentes das seguintes restrições: $5 < a < 9$, $5 < b < 9$, $(a \times b \geq 30)$ e $15 \leq c \leq 19$, com a subtração condicionada a uma operação de empréstimo de dezena para unidade.

Foi estabelecido tempo limite de 10 minutos para a realização do teste, sendo esta condição desconhecida pelos participantes, que foram motivados a resolver o maior número de questões com a melhor precisão possível. Todo o procedimento foi devidamente filmado para efeito de registro e auditoria posterior e os acertos foram listados em Ficha de Avaliação específica que estava de posse do aplicador (apêndice 6.3).

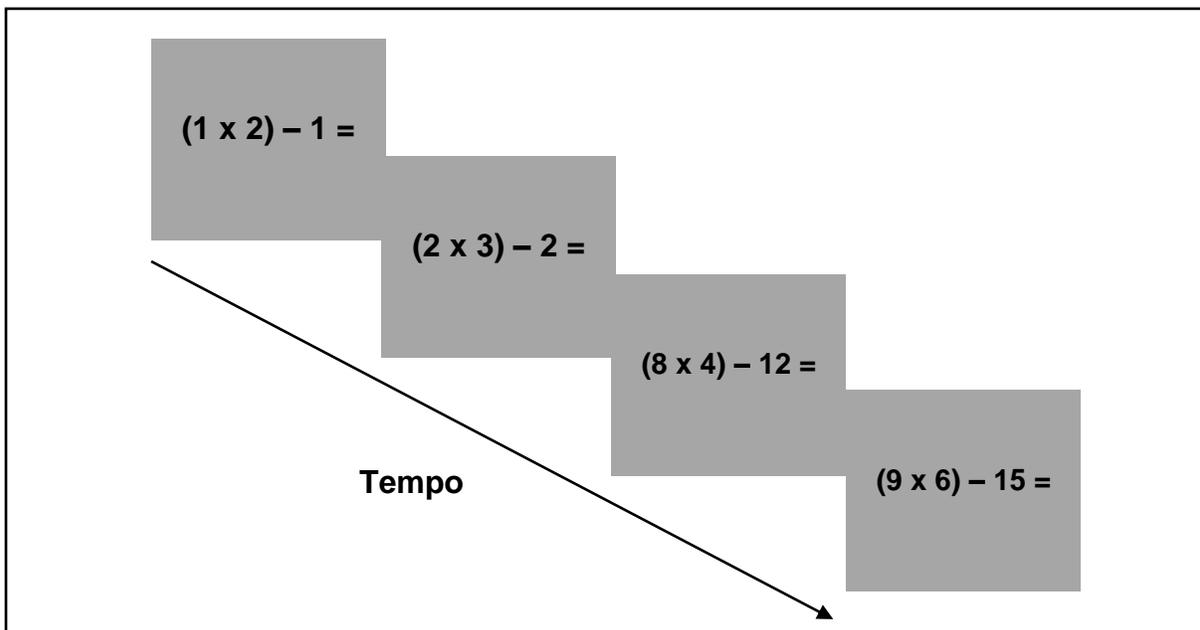


Figura 14- Reprodução das telas apresentadas aos participantes mostrando algumas das diferentes questões que compuseram o Teste de Desempenho Matemático. Um tempo de 10 minutos foi definido como limite de resolução. Esse tempo era desconhecido pelos participantes.

A eficácia do desempenho tem sido frequentemente medida por taxas de erros, acertos e tempos de resposta (ANSARI, DERAKSHAN e RICHARDS, 2008; BASTEN et al., 2012; WILLIAMS et al., 2002). Considerando o TDM, o desempenho foi mensurado a partir da pontuação total de acertos do participante.

Além das pontuações obtidas no TDM, obtivemos o desempenho matemático auferido pela própria escola, no intuito de associa-los aos resultados obtidos experimentalmente.

2.4.4. Teste de Avaliação do Controle Inibitório: *Flanker Test*

O *Flanker Test* foi escolhido para avaliar o controle inibitório, processo da Função Executiva comumente impactada em indivíduos com Ansiedade Matemática. Foi realizado de modo automatizado através do software *The Psychology Experiment Building Language (PEBL)*, tratando-se de um teste necessariamente não verbal, amplamente utilizado por estudos em crianças e adolescentes. Na tarefa, os participantes foram instruídos a olhar para uma seta central (alvo) e ignorar as setas adjacentes que poderiam ser congruentes (mesmo sentido) ou incongruentes (sentidos opostos) a ela (figura 15). De modo que, se a seta central apontasse para a direita, o botão “Shift-direito” do teclado do computador deveria ser pressionado. Se a seta central apontasse para a esquerda, o botão “Shift-esquerdo” deveria ser pressionado. Essa decisão deveria ocorrer da forma mais rápida e precisa possível. O contraste entre o desempenho nas condições incongruentes versus as condições congruentes é frequentemente considerado para refletir sobre os aspectos de inibição ou resolução de conflitos. Normalmente, o Tempo de Reação (TR) é mais lento e as taxas de erro são mais altas na condição incongruente do que na condição congruente.

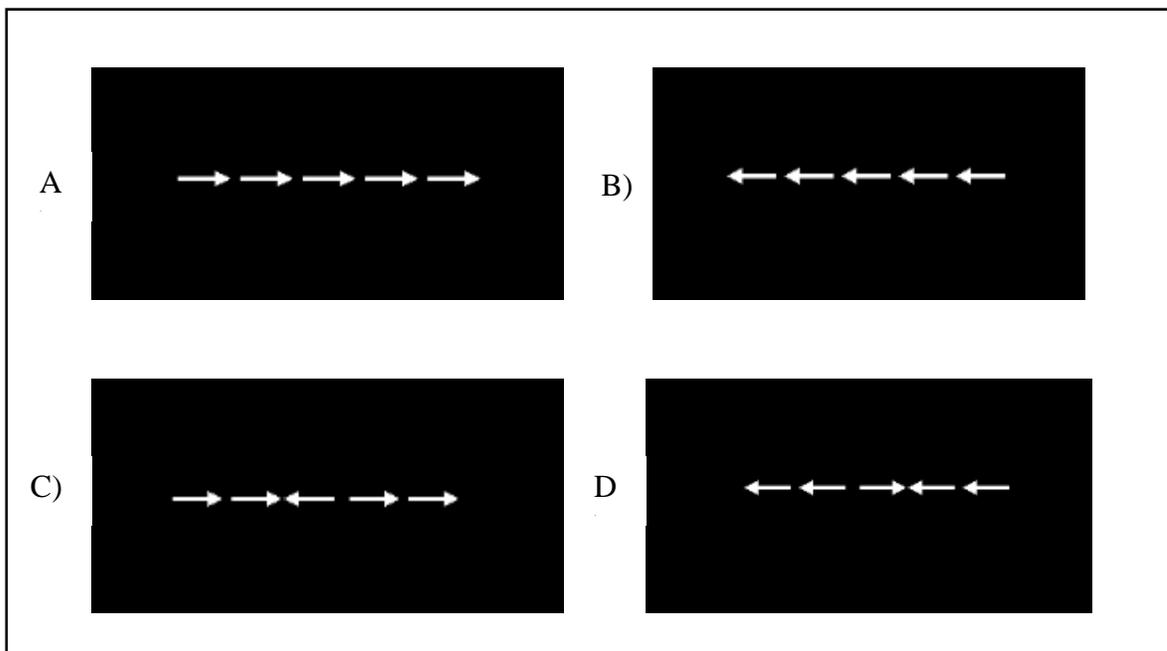


Figura 15- Ensaios Congruentes e Incongruentes no Flanker Test. Ensaios congruentes (A e B) não requerem processos inibitórios. Ensaios incongruentes (C e D) requerem processos inibitórios pois as flechas adjacentes estão em sentido contrário a flecha central.

O teste foi exibido em um monitor de 24'', com resolução de 1366x768 (pontos/linha), localizado na frente da criança, exibindo um fundo preto. Os estímulos (flechas brancas com tamanho equivalente a 100 pixels) eram exibidos por 800 ms (milissegundos), a menos que o participante registrasse uma resposta antes do tempo decorrido. O intervalo entre cada estímulo foi de 1000 ms, configurado para 9 tentativas iniciais de adaptação e 200 tentativas válidas para análise. Após as instruções e as tentativas iniciais de treinamento, era perguntado a criança se ela havia entendido a tarefa, ocorrendo novas tentativas caso sua resposta fosse negativa. Para efeito de análise, serão considerados os tempos de resposta para cada condição (congruente e incongruente), a acurácia e o custo do conflito.

2.5. Aquisição e processamento dos dados da VFC

Os dados brutos da variabilidade da frequência cardíaca foram extraídos do monitor Polar V800 em unidades de tempo fixadas em ms e com frequência de amostragem de 1000 Hz. Esse dispositivo apresenta boa acurácia nas gravações de intervalos RR, com parâmetros VFC altamente comparáveis e consistentes com um Eletrocardiógrafo- ECG (GILES et al., 2016). A captação dos sinais elétricos do coração se deu a partir de uma cinta com eletrodos, posicionada na região do tórax do participante que se manteve sentado ao longo de todo o experimento. A gravação durou uma média de 25 minutos sendo transmitida para o monitor através de campos eletromagnéticos. Os dados RR (não filtrados) foram então exportados como um arquivo .txt do Serviço Web Polar Flow.

Através de filtro automático, todas as amostras de 5 minutos foram processadas para remover possíveis artefatos, usando filtro de mediana, confirmados por inspeção visual. A análise filtrada dos dados para calcular os domínios do tempo e da frequência e as medidas não lineares da VFC foi realizada pelo software Kubios HRV, considerando segmentos idênticos de 256 s dos intervalos NN (intervalos RR das quais os picos R anormais foram removidos) (figura 16).

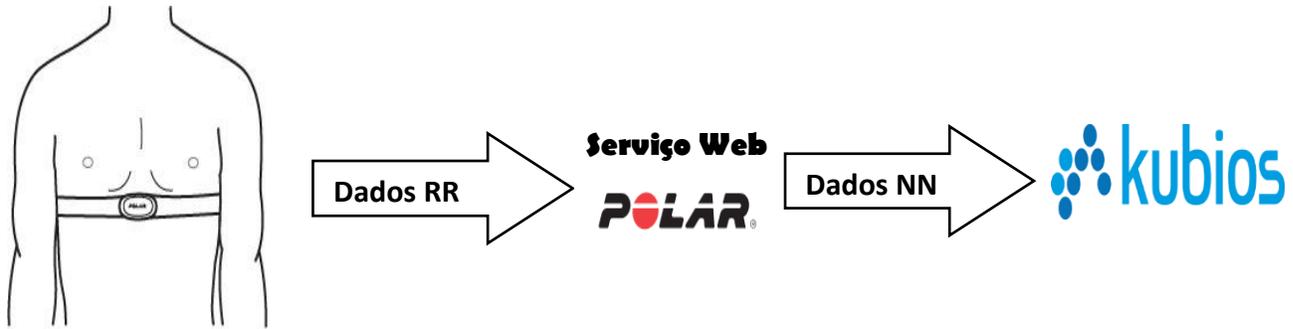


Figura 16- Aquisição e processamento dos dados da VFC- Após o registro da VFC realizado pela cinta do cardiofrequencímetro, os dados brutos eram migrados para o serviço web polar e posteriormente eram tratados matematicamente pelo software *Kubios HRV*, gerando os parâmetros lineares e não lineares.

2.6. Análise estatística

As análises foram conduzidas no SPSS (versão 20) com significância definida em $p < 0,05$. As variáveis foram avaliadas quanto à normalidade através do teste de Kolmogorov- Smirnov, aplicando transformação logarítmica para a base 10 nas medidas VFC que não apresentaram distribuição normal. Estatística descritiva foi calculada para todos os parâmetros da VFC durante as três condições experimentais, sendo seus valores reportados em média \pm DP (desvio padrão). Testes-t de Student para amostras independentes e teste U de Mann Whitney compararam diferenças entre os dados demográficos e os parâmetros lineares e não lineares dos intervalos RR em relação aos grupos LMA e HMA. Análises correlacionais (com amostra total e amostras separadas- intragrupo) foram conduzidas considerando a correlação de Pearson (bicaudais) entre os parâmetros VFC, os níveis de ansiedade matemática e ansiedade-traço, as pontuações do teste de desempenho matemático e teste de função executiva. O coeficiente de correlação “r” foi interpretado a partir dos seguintes parâmetros: $r = 0.5$ grande, $r = 0.3$ moderado, $r = 0.1$ pequeno (conforme COHEN, 1988). Para as correlações significativas, realizamos regressões lineares simples, ajustadas através de modelo hierárquico para o R-CMAS, no intuito de verificar o nível de predição entre as variáveis e construir modelos de mediações a partir delas. As mediações foram do tipo simples $X \rightarrow M \rightarrow Y$ (Efeito de X sobre Y mediado por M), e testaram as variáveis Ansiedade Matemática, Desempenho Matemático e Controle Inibitório, estabelecendo como covariável a Ansiedade Geral. Nossa análise de mediação foi realizada a partir do *macro Process for SPSS*, disponível em <http://www.processmacro.org/index.html>, utilizando-se de 5 mil amostras de *bootstrap* para gerar erros corrigidos, considerando um intervalo de confiança de 95%. A análise que possibilitou verificar a independência dos efeitos para Ansiedade Matemática foi realizada a partir da Análise de Covariância (ANCOVA) tendo como fatores a Ansiedade Matemática e a

Ansiedade Geral. Nossas análises objetivaram examinar a) se a VFC difere entre crianças com baixa ansiedade matemática e alta ansiedade matemática; b) se existem correlações entre ansiedade matemática, VFC, desempenho matemático e controle inibitório; c) se a Ansiedade Matemática em detrimento da Ansiedade Geral moderou o efeito sobre a VFC; d) se Ansiedade matemática, desempenho matemático ou controle inibitório podem ser mediadores dos efeitos das variáveis preditoras sobre as dependentes nos modelos de regressão hierárquica.

3. RESULTADOS

3.1. Ansiedade Matemática e suas associações e diferenças com fatores demográficos, desempenho matemático e controle inibitório

A idade dos participantes variou entre 9 e 12 anos (média: $10,57 \pm 0,57$ anos de idade). A altura e peso médio foram de 1,46 cm (variando entre 1,25 e 1,61 m) e 40,83 kg (faixa: 25 a 76 kg) não diferindo em termos de índice de massa corporal- IMC (teste U de Mann Whitney: 0,225; média geral: $18,74 \pm 0,37$). Os participantes foram divididos em grupos de baixa e alta AM a partir as pontuações obtidas na escala MARS-E. Em geral, 54 crianças (54%) apresentaram alto nível de AM (média: $74,65 \pm 13,10$ pontos), não diferindo para sexo ($t(98) = 0,680$, $p = 0,498$), idade ($t(98) = 1,329$, $p = 0,187$).

Crianças com alta ansiedade matemática exibiram menor desempenho matemático (média $6,87 \pm 3,34$ pontos) e baixa precisão no controle inibitório (média: $0,82 \pm 0,156$). Uma tendência foi observada para o desempenho escolar, indicando que também em parâmetros escolares (além dos experimentais), indivíduos com alta AM tendem a apresentar baixos desempenhos. Os grupos não diferiram em termos de tempo de resposta nas condições congruentes e incongruentes no teste de controle inibitório; contudo, esse tempo não se refletiu em acertos, pois as crianças HMA também foram as que mais erraram (tabela 2).

Domínio	Média \pm DP		t	p
	LMA	HMA		
Desempenho no teste Matemático	8,63 \pm 3,90	6,87 \pm 3,34	2,428	0,017*
Desempenho Matemático escolar	7,91 \pm 1,47	7,38 \pm 1,25	1,934	0,056
<i>Controle Inibitório</i>				
Erros Totais	23,43 \pm 16,44	36,00 \pm 31,34	-2,446	0,016*
Média de precisão	0,88 \pm 0,082	0,82 \pm 0,156	2,446	0,016*
Tempo de resposta (congruente)	530,44 \pm 53,26	522,44 \pm 61,18	0,691	0,491
Tempo de resposta (incongruente)	567,15 \pm 58,84	559,23 \pm 60,60	0,66	0,511

* $p < .05$ (bicaudal)

Tabela 2- Teste t de amostras independentes para diferenças no desempenho matemático e controle inibitório em relação à Ansiedade Matemática.

Considerando a associação entre Ansiedade Matemática e Desempenho, observou-se no teste de correlação de Pearson, que tanto o desempenho no teste matemático ($r = -0,248$, $p = 0,014$) quanto o desempenho escolar ($r = -0,302$, $p = 0,003$) foram correlacionados negativamente com a pontuação na escala MARS-E, indicando uma associação entre AM e os déficits de desempenho matemático.

Em relação ao controle inibitório (considerando os erros totais) e desempenho matemático, foram encontradas correlações significativas inversamente proporcionais entre erros totais com desempenho escolar ($r = -0,249$, $p = 0,01$); com acertos totais ($r = -0,211$, $p = 0,035$) e com acertos em média complexidade ($r = -0,224$, $p = 0,024$), indicando que uma alta média de erros no teste de controle inibitório está relacionado com baixas médias de desempenhos matemáticos. Não houveram correlações significativas entre Ansiedade Matemática e controle inibitório.

3.2. Ansiedade Matemática e sua associação com a VFC

3.2.1. Diferença entre os grupos HMA e LMA em relação a VFC

Diferindo os grupos LMA e HMA em relação aos parâmetros da VFC nas três condições experimentais, nota-se que, durante o teste de desempenho matemático, o parâmetro de baixa frequência (LF), no grupo HMA, aumentou significativamente em relação ao repouso. O componente LF é considerado como refletindo uma sinergia de influências vagais e simpáticas com predominância para simpática, de modo que atividades simpáticas se relacionam à maior excitação (BERNTSON et al., 1997, SCHUBERT, 2009). As Medidas não lineares de entropia aproximada (apEn) e entropia de amostra (SampEn)- que calculam regularidade e complexidade- distinguem os grupos, sendo menores no grupo HMA no momento do teste de matemática, diferindo significativamente do grupo LMA. Em crianças com Ansiedade Matemática, parâmetros como RMSSD, NN50, Pnn50 e HF, que refletem atividades parassimpáticas, associada à homeostase e equilíbrio, foram significativamente maiores no controle inibitório, tanto em relação ao repouso quanto em relação ao teste de desempenho matemático que foi realizado anteriormente. Note que nas duas condições de teste, o tônus vagal foi predominante apenas naquela que não envolvia estímulos matemáticos para o grupo HMA. DFA α 1 não diferiu do repouso e foi significativamente menor durante o teste de controle inibitório para o grupo HMA (tabela 3).

Índices VFC	LMA			HMA		
	Repouso	Teste Matemático	Controle Inibitório	Repouso	Teste Matemático	Controle Inibitório
Média_FC (bpm)	100,43±17,40	101,35±17,44	94,54±15,34**	99,90±15,64	97,78±11,85	92,60±12,06**
Min_FC (bpm)	87,93±14,69	88,54±14,04	83,67±11,35**	88,15±12,57	85,69±11,16*#	81,81±10,37**
Max_FC (bpm)	119,86±34,18	119,48±27,59	110,83±32,49**	115,80±23,71	113,79±19,84	107,20±16,52**
LF (log)	6,10±1,11	6,26±1,07	6,12±0,96	6,18±0,99	6,45±0,88*#	6,33±0,85
HF (log)	6,11±1,51	6,08±1,43	6,09±1,16	6,01±1,16	6,21±0,94	6,30±1,05*#
VLF (log)	3,73±1,19	4,01±1,34	3,80±1,02	3,89±1,31	4,11±1,08	3,85±0,93
SDNN	41,77±23,54	41,16±22,68	40,27±19,12	38,12±18,14	40,50±16,56	41,39±16,92
RMSSD	41,12±27,32	37,36±24,67	43,47±27,38	35,23±22,22	36,49±19,03	41,88±22,89**#
NN50	50,20±49,64	41,98±43,55	53,67±51,08	40,61±46,04	37,37±37,68	51,15±47,17*#
Pnn50	19,92±19,74	16,48±17,09	20,79±19,86	15,19±17,75	14,69±14,79	20,10±18,49**#
Poincare plot_SD1	29,14±19,36	26,47±17,48	30,79±19,39	24,96±15,74	25,85±13,48	29,67±16,22
Poincare plot_SD2	50,89±28,05	51,57±27,44	47,16±20,40	47,36±21,21	50,80±19,97	49,91±19,14
SD1/SD2	2,04±0,65	2,17±0,49	1,73±0,47	2,15±0,64	2,13±0,56	1,89±0,59
ApEn	0,98±0,092	1,01±0,045	1,01±0,053*	1,01±0,066	0,99±0,057*#	1,00±0,048
SampEn	1,60±0,31	1,62±0,24	1,81±0,22	1,68±0,326	1,57±0,245*#	1,72±0,273
DFA $\alpha 1$	1,03±0,26	1,13±0,20**	0,95±0,21	1,11±0,25	1,14±0,20	1,02±0,25#

*p < 0,05 em relação ao repouso

**p < 0,01 em relação ao repouso

p < 0,05 em relação ao grupo LMA

Tabela 3- Diferenças dos parâmetros VFC entre os grupos LMA e HMA, nas três condições experimentais

3.2.2. Correlação dos índices VFC com Ansiedade Matemática

Considerando que os parâmetros não lineares da VFC são mais sensíveis as mudanças emocionais provocadas pelo ambiente, testamos a existência de associações específicas com esses índices em cada condição experimental. Correlação de Pearson analisada para toda amostra, identificou que altos níveis de AM estão diretamente relacionados com DFA $\alpha 1$ durante o repouso. Durante o teste de desempenho matemático (TDM), apenas apEn se mostrou associada negativamente com altos níveis de AM ($r = -0,263$, $p = 0,009$). Em seguida, para testar a hipótese do estresse específico do TDM estar mais associado com a VFC no grupo de HMA do que no grupo LMA, testamos correlações dentro de cada grupo (LMA e HMA), e, observamos, somente no grupo HMA, associação moderada e negativa entre ApEn e Ansiedade Matemática ($r = -0,357$; $p = 0,008$)

e SampEn e Ansiedade Matemática (- 0,349, $p = 0,010$), sugerindo que crianças com alta AM podem ter uma resposta, na condição de stress (teste matemático), associada a redução da complexidade na VFC. As crianças não diferiram nesses parâmetros, nem em relação ao sexo e nem à idade, em nenhuma das condições experimentais. Durante o teste de controle inibitório também foram encontradas correlações significativas onde maior AM está associada com menor complexidade da VFC (sampEn) e maior DFA α 1 (redução atividade vagal) e SD1/SD2. Não houveram correlações significativas em relação aos índices lineares da VFC. As correlações entre o nível de Ansiedade Matemática e as dinâmicas não lineares dos intervalos RR são apresentadas na tabela 4:

Correlação com AM durante as condições:						
Índices VFC	Repouso		Teste Matemático		Teste de Controle Inibitório	
	r	p	r	p	r	p
apEn	0,135	0,182	-0,263	0,009**	-0,192	0,057
sampEn	0,025	0,803	-0,136	0,179	-0,285	0,004*
DFA α 1	0,198	0,049*	0,091	0,37	0,203	0,044*
DFA α 2	0,13	0,2	-0,039	0,705	0,178	0,079
SD1	0,156	0,124	0,081	0,425	-0,1	0,323
SD2	- 0,093	0,362	-0,040	0,692	0,047	0,641
SD1/SD2	0,136	0,178	0,084	0,406	0,238	0,018*

* $p < 0,05$

** $p < 0,01$

Tabela 4- Correlações de Pearson entre resultados não lineares da VFC com o nível de ansiedade matemática durante o repouso, tarefa matemática e teste de controle inibitório

3.2.3. Efeito da Ansiedade Matemática e ansiedade geral sobre a VFC

Criticamente, a Ansiedade Matemática e não a Ansiedade Geral, moderou o efeito sobre o parâmetro de complexidade da VFC (apEn), no momento do teste de matemática. As variáveis não lineares da VFC foram estudadas em análise de covariância tendo como fatores a Ansiedade Matemática e a Ansiedade Geral. A ANCOVA revelou que não houve efeito da covariável Ansiedade Geral sobre o parâmetro de complexidade da VFC [$F(1, 96) = 0,145$; $p > 0,05$]. Contudo, houve efeito da Ansiedade Matemática sobre esse parâmetro, após o controle para Ansiedade Geral [$F(1,96) = 5,053$; $p < 0,05$]. Não houveram diferenças significativas para os demais parâmetros não lineares.

3.3. Análise de Regressões

Análises de regressões hierárquicas (tendo como covariável a ansiedade geral) mostraram que a baixa complexidade da VFC (apEn) está associada com alta Ansiedade Matemática ($r^2= 0,08$, $\beta= -1,65$ $p= 0,005$); o desempenho matemático escolar está associado negativamente com a Ansiedade Matemática ($r^2= 0,62$, $\beta= -3,43$, $p = 0,013$), apontando que as menores notas na disciplina estão associadas aos maiores níveis de AM. No teste de desempenho matemático (TDM), os acertos totais ($r^2= 0,56$, $\beta= -1,21$, $p= 0,018$) e os acertos nas questões de média complexidade se associaram negativamente a AM ($r^2= 0,50$, $\beta= -1,73$ $p= 0,025$), indicando que questões simples não foram capazes de prever efeitos sobre a Ansiedade Matemática entre os participantes. Para as questões de alta complexidade não encontramos resultados significativos, o que provavelmente se deve ao fato da maioria das crianças ansiosas não terem chegado a responder questões dessa natureza. Ao realizarmos os ensaios de regressão, invertendo as variáveis (AM \rightarrow DM), descobrimos que a Ansiedade Matemática também se associa negativamente ao desempenho matemático, tanto ao escolar ($r^2= 0,081$, $\beta= - 0,25$, $p = 0,005$), quanto aos acertos totais no TDM ($r^2= 0,062$, $\beta= - 0,58$, $p = 0,018$) e acertos nas questões de média complexidade ($r^2= 0,062$, $\beta= 0,04$, $p= 0,014$). Note, entretanto, que as primeiras análises de regressão (DM \rightarrow AM), apresentaram um maior efeito preditor do desempenho escolar sobre a AM.

O baixo controle inibitório (erros totais) está fracamente associado com o melhor desempenho matemático, tanto escolar ($r^2= 0,089$, $\beta= - 0,16$, $p= 0,003$) quanto acertos totais no TDM ($r^2= 0,042$, $\beta= - 0,29$, $p= 0,04$), quanto acertos nas questões de média complexidade ($r^2= 0,48$, $\beta= - 0,21$, $p= 0,03$). Para efeito de análise, uma criança com alto controle inibitório é aquela que cometeu menos erros no *Flanker*. Uma criança com baixo controle inibitório é aquela que cometeu mais erros no *Flanker*. Assim, a partir do resultado da regressão para essas variáveis, o melhor controle inibitório parece estar associado ao melhor desempenho matemático.

3.4. Modelos de Mediação

No geral, modelos de mediação visam indicar o quanto uma variável afeta a outra, quando mediada por uma terceira, estabelecendo relações causais e associações entre elas (MACKINNON,

2010). Construimos cinco modelos de mediações do tipo $X \rightarrow M \rightarrow Y$, onde o efeito de X em Y (caminho ab) é explicada a partir das relações entre $X \rightarrow M$ (caminho a) e $M \rightarrow Y$ (caminho b). Para todos os modelos, estabelecemos como covariável a ansiedade geral (figura 15, tabela 5).

Os referidos modelos de mediações foram baseados em teorias predominantes e ainda conflitantes nas pesquisas sobre AM, que tentam explicar a relação de causa-efeito bilateral entre Ansiedade Matemática e Desempenho Matemático. Por exemplo, Suárez Pellicioni et al., (2014), baseados na Teoria do Controle Atencional, argumenta que a AM prejudica a função inibitória, comprometendo o desempenho matemático. A Teoria do Déficit (MA e XU, 2004), enuncia que é o mau desempenho matemático que prediz a Ansiedade Matemática; por fim, a Teoria Recíproca (GUNDERSON et al., 2017) argumenta a favor de uma interação bidirecional entre Ansiedade Matemática e Desempenho Matemático (ver sessões 1.2 a 1.5 de nosso estudo).

Nós testamos esses modelos teóricos estabelecendo como mediador a função inibitória, no intuito de verificar se sua mediação foi capaz de produzir efeitos na relação Ansiedade Matemática/Desempenho Matemático. Em termos didáticos, as mediações objetivaram responder especificamente as questões abaixo, associadas por cor e número com a tabela de mediações apresentada a seguir (tabela 5).

1- O controle inibitório media o efeito do desempenho matemático sobre a Ansiedade Matemática? (Teoria do Déficit)

2- O controle inibitório media o efeito da Ansiedade Matemática sobre o desempenho matemático? (Teoria do Controle Atencional)

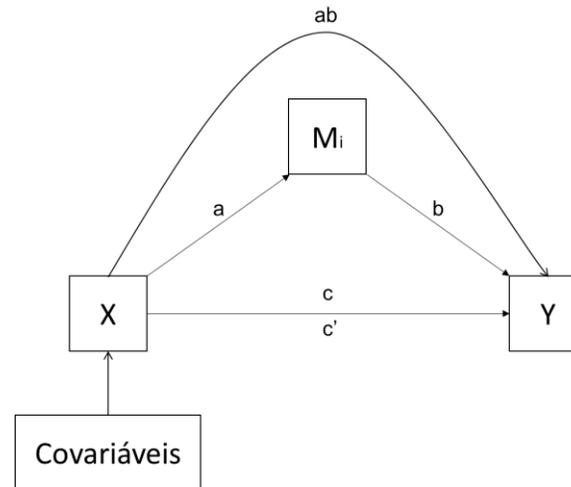


Figura 17- Gráfico de Mediação- X, M e Y indicam as variáveis testadas. O mediador M foi o controle inibitório; X e Y representaram alternadamente Ansiedade Matemática e Desempenho Matemático. A Ansiedade Geral foi inserida como covariável. “ab” representa o efeito indireto de X em Y.

	Mediação			Efeito Indireto (ab)			a		b		Efeito Total c		Efeito Direto c'	
	X	M	Y	Efeito	BootLLCI	BootULCI	Coef.	p	Coef.	p	Efeito	p	Efeito	p
1	Desempenho Matemático (Escolar)	Controle Inibitório	AM (%)	-1,3848	-2,9937	-0,0202	-5,6583	0,0026	0,2447	0,0495	-3,8078	0,0957	-2,4229	0,3023
	TDM-Média complexidade	Controle Inibitório	AM (%)	-0,5835	-1,339	-0,0247	-2,312	0,0292	0,2524	0,0383	-2,0577	0,1068	-1,4741	0,2498
2	AM (%)	Controle Inibitório	TDM-Media complexidade	-0,0035	-0,0088	-0,0002	0,1974	0,018	-0,018	0,063	-0,0128	0,1068	-0,0092	0,2498
	AM (%)	Controle Inibitório	Desempenho Matemático Escolar	-0,0028	-0,0063	-0,0004	0,1974	0,018	-0,0144	0,0069	-0,0074	0,0957	-0,0045	0,3023
	AM (score)	Controle Inibitório	Desempenho Matemático Escolar	-0,004	-0,0096	-0,0003	0,2983	0,0301	-0,0135	0,0099	-0,018	0,0126	-0,014	0,05

Tabela 5- Modelos de Mediação entre as variáveis de controle inibitório, Ansiedade Matemática e desempenho matemático- Legenda: TDM- Teste de Desempenho Matemático; AM: Ansiedade Matemática; Notas: Controle Inibitório está sendo analisado a partir do total de erros; Os efeitos indiretos entre as variáveis X => Y estão em ordem decrescente.

Os resultados apresentados na tabela 5 compreendem ao efeito mediador do controle inibitório (erros totais) na relação bilateral entre Ansiedade Matemática e Desempenho Matemático. Nos modelos relativos a pergunta 1 (em amarelo), percebemos efeitos negativos no caminho “a”, que compreendem a relação entre desempenho matemático e controle inibitório ($a = -5,6583$ e $-2,312$), relacionados respectivamente ao desempenho matemático escolar e TDM média complexidade. Esses resultados indicam que baixo desempenho matemático pode gerar alto número de erros no teste de função executiva [baixo controle inibitório]. No caminho “b”, que representa a relação entre controle inibitório e Ansiedade Matemática, os efeitos são positivos ($b = 0,2447$ e $0,2524$), indicando que um alto número de erros [baixo controle inibitório] está relacionado a uma alta ansiedade matemática. Finalmente, o efeito indireto entre Desempenho Matemático e Ansiedade Matemática, quando mediado pelo controle inibitório, mostra-se negativo ($ab = -1,3848$ e $-0,5835$), confirmando a relação inversa entre Desempenho Matemático e Ansiedade Matemática. Esses resultados indicam, por exemplo, que uma criança com baixo desempenho matemático pode produzir um baixo controle inibitório gerando uma maior Ansiedade Matemática. A significância desse resultado é percebida a partir do intervalo de confiança encontrado no efeito indireto (*BootLLCI*), cujo zero não é incluído entre os seus valores (IC: $[-2,9937 -0,0202]$ e $[-1,339 -0,0247]$).

Nos modelos relativos a pergunta 2 (em cinza), os efeitos encontrados nos caminhos “a”, entre Ansiedade Matemática e Controle Inibitório, mostraram-se positivos ($a = 0,1974$; $0,1974$; $0,2983$), indicando que uma maior Ansiedade Matemática está relacionada a um maior número de erros no teste de função executiva [baixo controle inibitório]. Os efeitos nos caminhos “b”, por sua vez, que correspondem a relação entre controle inibitório e desempenho matemático, mostraram-se negativos, indicando que um alto número de erros no teste de função executiva [baixo controle inibitório] se correlaciona com um baixo desempenho matemático. Por fim, o efeito indireto entre Ansiedade Matemática e Desempenho Matemático, quando mediado pelo controle inibitório, se mostraram negativos ($ab = -0,0035$; $-0,0028$; $-0,004$), confirmando, em menor escala, a relação inversa entre essas duas variáveis. A significância desse resultado é percebida a partir do intervalo de confiança encontrado no efeito indireto (*BootLLCI*), cujo zero não é incluído entre os seus valores (IC: $[-0,0035 -0,0088]$; $[-0,0028 -0,0063]$; $[-0,004 -0,0096]$).

4. DISCUSSÃO

Considerando a ausência de estudos que tenham investigado as relações entre AM e VFC e apesar da Ansiedade Matemática ser diferente da ansiedade geral, delimitaremos nossas análises acerca da VFC, considerando os modelos teóricos Polivagal (PORGES, 2011) e da integração neurovisceral (THAYER et al., 2012), além dos estudos disponíveis na literatura sobre ansiedade e estresse.

Em nosso estudo, examinamos se a resposta da variabilidade da frequência cardíaca se diferia entre crianças com baixo e alto nível de Ansiedade Matemática, considerando distintas condições experimentais: repouso, teste de desempenho matemático e teste de controle inibitório. Mostramos pela primeira vez, até onde sabemos, que crianças com alta Ansiedade Matemática apresentaram prejuízos na autonomia da VFC ao exibirem reduções nos índices de complexidade, especificamente durante o teste de desempenho matemático. Complexidade reduzida tem sido interpretada como sistemas de menor adaptabilidade, pouca flexibilidade e fácil comprometimento, relacionando-se a doença ou envelhecimento (LIPSITS, 2004). Além disso, tem sido proposto que a complexidade cardíaca está sob o controle do sistema nervoso autônomo, sendo capaz de monitorar indiretamente, o equilíbrio entre Sistema Nervoso Simpático- SNS e Sistema Nervoso Parassimpático-SNP (PORTA et al., 2000; PORTA et al., 2007). Assim, os decréscimos nos índices de complexidade da VFC durante o teste matemático podem indicar uma mudança do equilíbrio simpatovagal (PORTA et al., 2007) e prejuízos nas condições de adaptação frente ao estresse. Nossos resultados estão de acordo com achados anteriores, que perceberam reduções em índices de complexidade em indivíduos com ansiedade-traço em situações de estresse da vida real envolvendo exame avaliativo (DIMITRIEV et al., 2016) e em estresse aritmético mental (VUKSANOVIC e GAL, 2007). Além disso, nosso trabalho também estende a parca literatura da VFC em crianças, ao mesmo tempo que possibilita uma visão holística e integradora com os estudos de neuroimagem que investigaram Ansiedade Matemática em crianças.

A complexidade diminuída no grupo de crianças com alta AM foi acompanhada por um baixo desempenho matemático, sugerindo que, em certo grau, as respostas fisiológicas visualizadas na VFC afetaram regiões de processamento cognitivo e emocional das crianças HMA. Além disso, para esse mesmo grupo, observou-se redução do tônus vagal no momento do teste matemático (envolvendo estímulo ameaçador) e dinâmica contrária na condição do teste de controle inibitório (sem estímulo ameaçador), aonde se observou um aumento nos índices HF, RMSSD, Pnn50-

ligados a atividade parassimpática- e decréscimo no expoente de escalonamento de curto prazo ($DFA\alpha1$), que reflete alta variabilidade da frequência cardíaca.

Analisaremos a seguir, de modo mais proeminente, a relação dos mecanismos da VFC em relação ao desempenho matemático nas crianças com Ansiedade Matemática.

4.1. As manifestações fisiológicas da VFC nas crianças HMA e a relação com o desempenho no momento da tarefa

Crianças HMA apresentaram reduções nos índices de entropia aproximada e entropia de amostra e redução do tônus vagal no momento do teste matemático. Um corpo crescente de evidências vem sugerindo que dinâmicas não lineares da VFC, das quais os índices de complexidade (apEn e SampEn) são uma de suas facetas, estão envolvidos em comportamentos cognitivo-emocionais (YOUNG e BENTON, 2018). De fato, foi relatado anteriormente que tais índices foram associados a modulação de ansiedade-traço (DIMITRIEV, 2016), mudanças na regulação autonômica de depressivos clínicos (VOSS et al., 2008) e diminuição da complexidade cardíaca em condições de alto estresse, incluindo o estresse aritmético mental (VUKSANOVIĆ e GAL, 2007 WILLIAMON et al., 2013; MELILLO et al., 2011). Particularmente em nosso estudo, das três condições analisadas, a única que poderia ser crítica para o grupo HMA, em termos de gerar ansiedade e promover alto stress, era a condição envolvendo o teste de desempenho matemático, que por sua vez, foi capaz de produzir variação nas taxas de entropia (apEn e SampEn) e no espectro de baixa frequência (LF). Nossas descobertas são consistentes com os resultados anteriores, e sugerem que os índices baseados nas taxas de entropia da VFC também podem ser particularmente úteis para identificar a resposta da Ansiedade Matemática no sistema nervoso autônomo em crianças.

Em relação a redução do tônus vagal durante o teste matemático, uma análise a partir dos modelos de integração neurovisceral e polivagal se faz necessária, considerando o protagonismo do nervo vago nessa interação (LABORDE et al., 2018; FRIEDMAM, 2007). A interpretação a partir da teoria polivagal sustenta que a redução da atividade parassimpática durante o estresse gerado a partir do teste matemático, pode vir a indicar um comportamento de mobilização de luta e fuga por parte das crianças ansiosas, se reverberando em baixo engajamento social perante a tarefa matemática (PORGES, 2011). É possível sugerir que a AM provoca efeito

predominantemente inibitório na atividade parassimpática das crianças e este efeito é associado ao estímulo ameaçador.

De acordo com o modelo de integração neurovisceral, redes neurais envolvidas na autorregulação autonômica, emocional e cognitiva (ver figura 9), também estão envolvidas no controle da atividade autonômica cardíaca, sendo ligadas pelo nervo vago (LANE et al., 2009; THAYER et al., 2012; PARK e TAYER, 2014). Assim, a VFC, mediada pelo tônus vagal, é capaz de integrar o sistema nervoso central ao sistema nervoso autônomo, sendo, portanto, um marcador psicofisiológico de engajamento ambiental (PORGES, 1996; KIM et al., 2018). Um alto tônus vagal na VFC, indica autocontrole regulatório que se reverbera em regularidade emocional e cognitiva. Por outro lado, a redução do tônus vagal cardíaco, representa o oposto disso (FRIEDMAN, 2007; LABORDE et al., 2018).

A autorregulação no cérebro é possível graças a um sistema inibitório promovido pelo córtex pré-frontal que em condições normais, inibe a atividade sobre circuitos subcorticais simpato-excitatórios (como a amígdala), fornecendo por sua vez, entradas inibitórias ao coração (PARK et al., 2013; THAYER et al., 2009; para uma revisão, ver THAYER et al., 2012). Entretanto, em condições adversas e ameaçadoras, a regulação inibitória pré-frontal, diminui, afetando os circuitos simpato-excitatórios e ativando mecanismos de defesa, hiper vigilância e cognição perseverativa, como por exemplo, preocupação (PARK et al., 2013; FRIEDMAN, 2007). Não surpreendentemente, a ansiedade está associada a baixas respostas inibitórias e reduções no tônus vagal e na variabilidade da frequência cardíaca (FRIEDMAN, 2007, KIM e WHALEN, 2009). Assim, no sistema nervoso autônomo, o tônus vagal é indexado a aspectos comportamentais de auto regulação, de modo que um baixo tônus vagal está ligado a má regulação emocional, diminuição da reatividade a vários estímulos e a uma ampla gama de condições desadaptativas (CHALMERS et al., 2014; FRIEDMAN, 2007).

Com base no exposto, é possível sugerirmos que a desordem no sistema nervoso autônomo observado nas crianças HMA, evidenciado em nosso estudo tanto pela baixa entropia quanto pela alteração na baixa frequência (LF), tenha ativado regiões de estresse emocional, afetando a auto regulação e inibido funções cognitivas superiores, comprometendo o desempenho. Acerca disso, numerosos estudos vêm mostrando que indivíduos com alta Ansiedade Matemática precisam de maior esforço cognitivo para controlar respostas emocionais negativas no intuito de alcançar um desempenho comparável aos indivíduos com baixa Ansiedade Matemática (LYONS e BEILock, 2012a; SUARÉZ PELLICIONI et al., 2015; PLETZER et al., 2015; CHANG et al., 2017).

O estudo de Young et al. (2012), conduzido em crianças com alta Ansiedade Matemática enquanto resolviam problemas matemáticos, demonstraram mudanças em regiões do cérebro associadas à ameaça e vigilância, hiperativando a amígdala direita e reduzindo a atividade nas regiões do córtex pré-frontal parietal e dorsolateral posteriores, envolvidas no raciocínio matemático. Mais recentemente, descobriu-se que o volume da amígdala direita de crianças com Ansiedade Matemática é estruturalmente reduzido (KUCIAN et al., 2018), reafirmando o papel de circuitos de processamento emocional em crianças HMA. Uma relação da atividade da amígdala com a regulação do sistema nervoso autônomo foi observada tanto em adultos (SAKAKI et al., 2016) quanto em adolescentes (YANG et al., 2007), fazendo-nos sugerir, que a resposta que encontramos no sistema nervoso autônomo em nosso grupo de crianças HMA, esteja afetando regiões cerebrais responsáveis pelo processamento cognitivo e emocional, comprometendo o desempenho.

Nossos achados estendem o entendimento sobre os mecanismos fisiológicos subjacentes da Ansiedade Matemática, contribuindo para um quadro explicativo mais holístico entre sistema nervoso central e sistema nervoso autônomo. Incentivamos fortemente que estudos futuros investiguem a associação entre VFC e redes neurais em indivíduos com Ansiedade Matemática, no intuito de confirmar o que hipotetizamos acima e estabelecer um modelo de integração neurovisceral que seja capaz de avançar no entendimento de importantes funções de regulação fisiológica, cognitiva e emocional para essa população.

Especificamente em relação ao teste de controle inibitório, percebeu-se que as crianças com alta ansiedade matemática apresentaram aumento nos parâmetros da VFC como DFA $\alpha 1$ e aqueles ligados a atividade parassimpática (como RMSSD, HF, pNN50), indicando maior adaptabilidade a esse teste ((LIPSITS, 2004; PORTA et al., 2007). Diferente do esperado, o grupo LMA somente apresentou aumento de complexidade (apEn). Esses achados corroboram o modelo de integração neurovisceral uma vez que o teste de Flanker para controle inibitório, demanda alta atividade do córtex pré-frontal e cingulado produzindo aumento do tônus parassimpático (LABORDE et al., 2015; HOFFMAN et al., 2017). As relações inversas observadas em nosso estudo entre os parâmetros lineares RMSSD, HF, pNN50, os parâmetros não lineares como o escalonamento fractal de curto prazo (DFA $\alpha 1$) e os índices de complexidade (como apEn e SampEn), também foram observados em estudos anteriores ao se investigar ansiedade geral (DIMITRIEV et al., 2016) e estresse (MELILLO et al., 2011).

Ao correlacionarmos os índices não lineares da VFC com as pontuações de Ansiedade Matemática e ansiedade geral, notamos que no momento do estímulo capaz de gerar ansiedade (Teste Matemático), elas foram moderadas pela primeira e não pela segunda. Assim, nossos achados corroboram com evidências anteriores, enfatizando a AM como um tipo particular de ansiedade (HEMBRE, 1990; CAREY, 2017), consubstanciando as informações de que ela se desenvolve na infância (YOUNG, 2012; RAMIREZ et al., 2013; KUCIAN et al., 2018) e é estimulada em situações específicas, quando se envolve estímulos matemáticos (LYONS e BEILOCK, 2012a; PIZZIE e KRAEMER, 2017).

4.2. Modelos de regressão e mediação entre Ansiedade Matemática, desempenho matemático e controle inibitório

Nossos achados dão conta que o controle inibitório media o efeito do desempenho matemático em relação a Ansiedade Matemática em crianças. Isso quer dizer, por exemplo, que um baixo desempenho matemático, quando mediado pelo baixo controle inibitório, levaria a maior Ansiedade Matemática, o que nos leva a corroborar com os defensores da teoria do déficit (MA e XU, 2004; DUNCAN et al., 2007; RUBINSTEN e TANNOCK, 2010, CARGNELUT et al., 2017), incluindo nela, o efeito mediador produzido pelo controle inibitório. De fato, os efeitos encontrados nas regressões hierárquicas apontam que o desempenho matemático escolar e no TDM moderadamente predizem a AM, o que de acordo com a teoria do déficit, poderia estar relacionado com experiências prévias de baixos desempenhos e autoconfiança em assuntos matemáticos nas séries iniciais (CARGNELUT et al., 2017). O efeito encontrado no modelo mediador foi significativo tanto em relação ao desempenho matemático escolar quanto ao desempenho no TDM. Em relação ao último (TDM), ressalta-se que apenas para questões de média complexidade foi observado o efeito do desempenho matemático sobre a Ansiedade Matemática, sugerindo que os grupos LMA e HMA se comportaram de maneira similar nas tarefas de baixa complexidade, mostrando-se consistente com estudos prévios (por exemplo, FAUST, 2010; LEE e CHO, 2018; CHANG et al., 2017). Para tarefas de alta complexidade, não foram encontrados resultados significativos, principalmente por conta de grande parte do grupo HMA não ter chegado a responder as questões dessa natureza.

Os nossos resultados também corroboraram com a Teoria do Controle Atencional, evidenciando o papel mediador do controle inibitório sobre a Ansiedade Matemática em relação

ao desempenho matemático. Em outros termos, replicamos o resultado, em pequeno efeito, de que crianças com maior Ansiedade Matemática tem menor controle inibitório e conseqüentemente menor desempenho matemático (SUARÉZ PELLICIONI et al., 2014).

Diferentemente de Suaréz Pellicionni et al. (2014) que encontraram déficits no controle inibitório em indivíduos com Ansiedade Matemática se utilizando de testes com estímulos matemáticos, nossos resultados indicam que esse déficit inibitório continua a existir mesmo quando o teste envolve estímulos neutros, o que já havia sido relatado em estudo anterior (HOPKO et al., 1998).

Em suma, nossas evidências encontraram uma relação mútua de causa/efeito entre Ansiedade Matemática e Desempenho Matemático quando mediado pelo controle inibitório, indo ao encontro da Teoria Recíproca (CAREY et al., 2016; GUNDERSON et al., 2017, RAMIREZ et al., 2018), embora se ressalte que de todos os modelos de mediações verificados, um maior efeito tenha sido encontrado na direção causal Desempenho Matemático → Ansiedade Matemática.

4.3. Implicações para a área de Educação Matemática

Nossa pesquisa se une aos esforços que vem sendo empreendidos na área da Educação Matemática, principalmente aqueles relacionados ao estudo dos aspectos afetivos e cognitivos ligadas a aprendizagem, como é o caso da Ansiedade Matemática. Considerando as altas taxas de prevalência desse transtorno de aprendizagem e dada suas conseqüências amplamente evidenciadas nesse e em outros vários estudos, parece não haver dúvida de que ela represente um problema sério para os resultados educacionais gerais da sociedade brasileira.

Compreender os mecanismos emocionais/cognitivos que se relacionam com a eficiência do desempenho em domínios matemáticos é imperativo para melhorar o ensino-aprendizagem dessa disciplina. Torna-se urgente avançar em seus entendimentos e construir estratégias para seu gerenciamento e remediação. Nossos resultados contribuem com essas expectativas, e, para além disso, incentivam a área de Educação Matemática no Brasil, a implementar uma perspectiva sistêmica de investigação e análise que integre aspectos comportamentais, cognitivos e fisiológicos. A aprendizagem matemática, como um processo mental e emocional, não pode ser considerada isoladamente de nossa fisiologia, mas, pelo contrário, deve ser entendida como parte integrante das diversas funções interativas e complexas que compõe o organismo do aprendente.

A esse respeito, informamos que em pesquisa integrativa a esta, estamos investigando o efeito agudo de uma sessão de exercício físico sobre o desempenho matemático, controle inibitório e VFC nas mesmas crianças com alta e baixa Ansiedade Matemática desse estudo. Nossos resultados, ainda preliminares, vem indicando que as crianças com baixa ansiedade matemática melhoram os desempenhos matemáticos após 20 minutos de caminhada moderada. Porém, o mesmo efeito não foi observado em crianças com HMA. Ambos os grupos, LMA e HMA, que se exercitaram, mas não os que permaneceram em repouso, melhoraram o desempenho do controle inibitório. Esses resultados parecem indicar a importância do exercício físico tanto em relação a Ansiedade Matemática quanto sobre a aprendizagem, abrindo caminhos promissores para estratégias de intervenções e futuras linhas investigativas.

Para além disso, com o desenvolvimento de tecnologias que fazem conhecer nossos mecanismos biológicos e a visualização de nossas alterações orgânicas- conhecidos como *biofeedbacks*- como é o caso da VFC, podemos hoje mensurar e avaliar processos cognitivo-emocionais. Programas, baseados em técnicas de auto regulação das emoções sobre medidas de Ansiedade Matemática- como o aumento do tônus vagal e dos índices de complexidade da VFC- podem ser desenvolvidos para sala de aula, no intuito de avaliar seus impactos sobre processos de ensino e aprendizagem matemáticos.

Assim, evidenciamos ser promissor para a área de Educação Matemática, a construção de práticas investigativas, pedagógicas e avaliativas que se utilizem do exercício físico e de *biofeedback* para gerenciar distúrbios e transtornos de aprendizagem, como o caso da Ansiedade Matemática, e acompanhar processos de aprendizagem, a fim de melhorar habilidades cognitivas e aprender sobre seus déficits. Conforme aqui mostrado, a VFC, como via estratégica para compreender processamentos emocionais e cognitivos pode ser investigada, em conjunto com outros procedimentos, em intervenções didáticas na sala de aula ou no acompanhamento de indivíduos que apresentem dificuldade na disciplina de matemática. Por se tratar de um instrumento não invasivo e de fácil manipulação, além de seu relativo baixo valor comercial, o cardiofrequêncímetro abre possibilidades factíveis de ser utilizado nos contextos escolares, universitários e ordinários.

CONCLUSÃO

Em resumo, nosso estudo significa um passo importante para entender como a Ansiedade Matemática influencia a VFC, possibilitando que estudos futuros estabeleçam relações mais integrativas entre sistema nervoso autônomo e sistema nervoso central. Em Conclusão, nossos resultados revelam pela primeira vez que a Ansiedade Matemática, independente da ansiedade geral, está associada a alterações na complexidade e na redução do tônus vagal cardíaco durante a realização de tarefas matemáticas durante a infância. O controle inibitório media efeitos preditores recíprocos entre Ansiedade Matemática e desempenho matemático suportando evidências recentes de um sistema biopsicossocial complexo que pode ter nos modelos de modulação do sistema nervoso autônomo um possível mecanismo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABÁSULO, D ; R, HORNERO; P, ESPINO; J, POZA; CI, SÁNCHEZ; R. DE LA ROSA. Analysis of regularity in the EEG background activity of Alzheimer's disease patients with Approximate Entropy. **Clinical Neurophysiology**. 116(8):1826-34, Aug 2005.

ABED AS, ALKHATEEB, HM. Mathematics anxiety among eighth-grade students of the United Arab Emirates. **Psychological Reports**. 89(1): 65-6, Aug 2001.

ANSARI, Tahereh L, DERAKSHAN, Nazanin, RICHARDS, Anny. Effects of anxiety on task switching: Evidence from the mixed antisaccade task. **Cognitive, Affective, & Behavioral**. 8(3), 229-238, Sep 2008.

ANTICEVIC, Alan. REPOVS, Grega, SHULMAN, Gordon L., BARCH, Deanna M. When less is more: TPJ and default network deactivation during encoding predicts working memory performance. **Neuroimage**, 49 (3):2638–2648, Nov. 2010.

ARSALIDOU, Marie, PAWLIW Matthew, MAHSA, Levac, JUANPASCUAL-Leone, Sadeghi. Brain areas associated with numbers and calculations in children: Meta-analyses of fMRI studies. **Developmental Cognitive Neuroscience** Vol. 30: 239-250, Apr 2018.

ARSALIDOU, M. TAYLOR, M.J. Is $2 + 2 = 4$? Meta-analyses of brain areas needed for numbers and calculations. **Neuroimage**, 54 (3): 2382-2393, Feb 2011.

ARTEMENKO Christina, DAROCZY Gabriella, NUERK, Hans-Christoph. Neural correlates of math anxiety – an overview and implications. **Frontiers Psychology**. 6:1333, sep. 2015.

ASHCRAFT, M. H., & KIRK, E. P. The relationships among working memory, math anxiety, and performance. **Journal of Experimental Psychology: General**, 130 (2), 224-237, jul. 2001.

ASHCRAFT, M. H., & RIDLEY, K. Math anxiety and its cognitive consequences: A tutorial review. In: CAMPBELL, J. I. D. (Ed.), **Handbook of mathematical cognition** (New York, NY: Psychology Press, 2005. p. 315-325.

ASHCRAFT, Mark H. Math anxiety: Personal, educational, and cognitive consequences. **Current Directions in Psychological Science**, 11 (5), 181-185, out 2002.

ASHCRAFT, Mark. H, MOORE, Alex. M. Mathematics Anxiety and the Affective Drop in Performance. **Journal of Psychoeducational Assessment**, 27(3), 197–205, apr. 2009.

ASHCRAFT, Mark. H., FAUST, Michael W. Mathematics anxiety and mental arithmetic performance: An exploratory investigation. **Cognition and Emotion**, 8 (2), 97–125, mar 1994.

BADDELEY, Alan. Working memory: looking back and looking forward. **Nature Reviews Neuroscience**, 4: 829–839, Out. 2003.

BALOGLU, Mustafa, e KOÇAK, Recep. A multivariate investigation of the differences in mathematics anxiety. **Personality and Individual Differences**, 40 (7): 1325–1335, May 2006.

- BANDER, Ricki S, BETZ, Nancy E. The relationship of sex and sex role to trait and situationally specific anxiety types. **Journal of Research in Personality**, 15(3): 312-322, Sep 1981.
- BARROUILLET, P, LÉPINE, R. Working memory and children's use of retrieval to solve addition problems. **J. Exp. Child Psychol.** 91 (3):183-204, jul. 2005.
- BASTEN U, STELZEL C, FIEBACH CJ. Trait anxiety and the neural efficiency of manipulation in working memory. **Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience**, 12(3):571-588, sep 2012.
- BECKERS F, VERHEYDEN B, AUBERT AE. Aging and nonlinear heart rate control in a healthy population. **American journal of physiology Heart and circulatory physiology.** 290(6):H2560–2570, 2006.
- BECKERS, Frank, RAMAEKERS, Dirk., AUBERT, Andre E. Approximate Entropy of Heart Rate Variability: Validation of Methods and Application in Heart Failure. **Cardiovascular Engineering: An International Journal**, 1 (4): 177-182, Dec 2001.
- BEILOCK, S.L., WILLINGHAM, Daniel T. The cognitive scientist –math anxiety: can teachers help students reduce it? **American Educator.** 38, 28–33, 2014.
- BEILOCK, Sian L. DECARO, Marci S. From Poor Performance to Success Under Stress: Working Memory, Strategy Selection, and Mathematical Problem Solving Under Pressure. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**, 33 (6): 983–998, Nov 2007.
- BEILOCK, Sian L. GUNDERSON, Elizabeth A. RAMIREZ, Gerardo, LEVINE, Susan C. Female teachers' math anxiety affects girls' math achievement. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 107 (5) 1860- 1863; Feb 2010.
- BERNARDI L, WADOWCZYK-SZULC J, VALENTI C, CASTOLDI S, PASSINO C, SPADACINI G, SLEIGHT, P . Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalization on heart rate variability. **J Am Coll Cardiol**, 35(6):1462–9, Mai 2000.
- BERNTSON G, BIGGER J, ECKBERG D, GROSSMAN P, KAUFMANN P, MALIK M, NAGARAJA HN, PORGES SW, SAUL JP, STONE PH, VAN DER MOLEN MW. Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. **Psychophysiology**, 34 (6): 623–648, Nov 1997.
- BIRGIN Osman, BALOĞLU Mustafa, ÇATLIOĞLU Hakan, GÜRBÜZ Ramazan. An investigation of mathematics anxiety among sixth through eighth grade students in Turkey. **Learning and Individual Differences**, 20 (6): 654–658, Dec 2010.
- BLAIR RJ. The amygdala and ventromedial prefrontal cortex in morality and psychopathy. **Trends Cogn Sci.**, 11(9) : 387-92 Sep 2007.

BRADLEY, R. T., MCCRATY, R., ATKINSON, M., TOMASINO, D., DAUGHERTY, A., & ARGUELLES, L. Emotion Self-Regulation, Psychophysiological Coherence, and Test Anxiety: Results from an Experiment Using Electrophysiological Measures. **Applied Psychophysiology Biofeedback**, 35(4), 261–283, Dec 2010

BRASS M, DERRFUSS J, FORSTMANN B, VON CRAMON DY. The role of the inferior frontal junction area in cognitive control. **Trends Cogn Sci**. 9:314—316, jul 2005.

BROWN Margarete., BROWN Peter., BIBBY Tamara. “I would rather die”: reasons given by 16-year-olds for not continuing their study of mathematics. **Research in Mathematics Education**, 10(1), 3–18, Sep 2008.

BRUNONI AR, VANDERHASSELT M- A, BOGGIO PS, FREGNI F, DANTAS EM MILL JG, et al. Polarity-and valence-dependent effects of prefrontal transcranial direct current stimulation on heart rate variability and salivary cortisol. **Psychoneuroendocrinology**, 38: 58–66, 2013.

BUCKNER RL, ANDREWS-HANNA JR., SCHACTER DL. The brain's default network: Anatomy, function and relevance to disease. **Ann, Acad. Sci, Nova York**, 1, 1124-1138, jan 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312703942_The_brain's_default_network_Anatomy_function_and_relevance_to_disease, acesso em 10/02/2019.

BULL, Rebecca & SCERIF, Gaia. Executive Functioning as a Predictor of Children's Mathematics Ability: Inhibition, Switching, and Working Memory. **Developmental neuropsychology**. 19 (3): 273-93, 2001.

BURIOKA, N., CORNÉLISSEN, G., MAEGAKI, Y., HALBERG, F., KAPLAN, D. T., MIYATA, M, SHIMIZU, E. Approximate Entropy of the Electroencephalogram in Healthy Awake Subjects and Absence Epilepsy Patients. **Clinical EEG and Neuroscience**, 36(3), 188–193, jul. 2005.

BUSSEY, Kay, BANDURA, Albert. Influence of Gender Constancy and Social Power on Sex-Linked Modeling. **Journal of personality and social psychology**. 47 (6). 1292-302, Dec 1984.

CAREY E, Devine A, Hill F, SZÜCS D. Differentiating anxiety forms and their role in academic performance from primary to secondary school. **Plos One**, 12(3), Mar 2017.

CAREY E, HILL F, DEVINE A e SZÜCS D. The Chicken or the Egg? The Direction of the Relationship Between Mathematics Anxiety and Mathematics Performance. **Frontiers in Psychology**, 6, 2016.

CARGNELUTTI, Elisa, PASSOLUNGHI, Maria Chiara, TOMASETTO, Carlo. How Is Anxiety Related to Math Performance in Young Students? A Longitudinal Study of Grade 2 to Grade 3 Children. **Cognition and Emotion** , 31 (4): 755-764, Mar 2016.

CARMO, J. S., CUNHA, L. O., & ARAÚJO, P. V. S. Análise comportamental da ansiedade à matemática: conceituação e estratégias de intervenção. In: SILVA, W. C. M. P. (Org.) **Sobre comportamento e cognição: análise comportamental aplicada**, pp. 185-195, Santo André, SP: ESETec, 2008).

CARMO, J.S., SIMIONATO, A.M. Reversão de ansiedade à matemática: alguns dados da literatura. **Psicologia em Estudo**, Maringá, 17(2): 317-327, abr./jun. 2012.

CARRETIÉ, Luis, HINOJOSA, José A, MARTIÑ-LOECHES, Manuel, Mercado, Francisco, Tapia. Manuel. Automatic Attention to Emotional Stimuli: Neural Correlates. **Human Brain Mapping** 22 (4):290 –299, Ago 2004.

CARGNELUTTI E., TOMASETTO C., PASSOLUNGI M. C. How is anxiety related to math performance in young students? A longitudinal study of Grade 2 to Grade 3 children. **Cogn. Emot.** 31: 755–76, 2017.

CASTANEDA, Alfred, et al. The Children's Form of the Manifest Anxiety Scale. **Child Development**, vol. 27(3): 317–326, 1956.

CHANG, C., CROTTAZ-HERBETTE, S., MENON, V. Temporal dynamics of basal ganglia response and connectivity during verbal working memory. **NeuroImage**, 34 (3), 1253–1269, Fev. 2007.

CHANG, Hyesang, BEILOCK, Sian. The math anxiety-math performance link and its relation to individual and environmental factors: a review of current behavioral and psychophysiological research. **Current Opinion in Behavioral Sciences**, 10, 33-38, Aug. 2016.

CHANG, Hyesang, SPRUTE, Lisa, MALONEY, Erin A, BEILOCK, Sian L. BERMAN, Marc G. Simple arithmetic: not so simple for highly math anxious individuals. **Social Cognitive and Affective Neuroscience**, 12 (12) 1940–1949, Dez. 2017.

CHAPLEAU, M. W. SABHARWAL, R. Methods of assessing vagus nerve activity and reflexes. **Heart Fail. Rev.** 16: 109–127, 2011.

CHIPMAN S., KRANTZ D., SILVER R. Mathematics anxiety and science careers among able college women. **Psychological Science**, 3(5): 292–296, Sep 1992.

COHEN, J (1988) *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associates, 1988.

CONNELLY, Lisa S, HASHER, Lynn, ZACKS, Rose. (1991). Age and reading: The impact of distraction. **Psychology and Aging**. 6(4): 533-541, Dec 1991.

CONTRERAS P, CANETTI R, MIGLIARO RE. Correlations between frequency-domain HRV indices and lagged Poincaré plot width in healthy and diabetic subjects. **Physiol Meas**, 28(1): 85-94, jan 2007.

DAMÁSIO, Antônio R. **O erro de descartes: emoção, razão e o cérebro humano**. Antônio R. Damásio: tradução Dora Vicente, Georgina Segurado. – 3º edição – São Paulo: Companhia das Letras, 2012.

DE VITO, G., GALLOWAY, S.D., NIMMO, M.A., MAAS, P., MCMURRAY, J.J. Effects of central sympathetic inhibition on heart rate variability during steady-state exercise in healthy humans. **Clin. Physiol. Funct. Imaging** 22 (1): 32–38, Jan 2002.

DEFFENBACHER, J. L. Worry and emotionality in test anxiety. In: I. G. Sarason (Ed.), **Test anxiety: Theory, research and application**. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum, 1980.

DERRFUSS, Jan, BRASS, MARCEL, NEUMANN, Jane, CRAMON, D. Involvement of the inferior frontal junction in cognitive control: Meta-analyses of switching and Stroop studies. **Human brain mapping**. 25 (1): 22-34, May 2005.

DEVINE A., Fawcett K., SZUCS D., DOWKER A. Gender differences in mathematics anxiety and the relation to mathematics performance while controlling for test anxiety. **Behavioral and Brain Functions**. 8 (33): 1–9, Jul 2012.

DIMITRIEV, D. A., SAPEROVA, E. V., DIMITRIEV, A. D. (2016). State Anxiety and Nonlinear Dynamics of Heart Rate Variability in Students. **Plos One**, 11(1): 1-22, Jan 2016.

DOWKER A., SARKAR, A., LOOI, C.Y. Mathematics Anxiety: What Have We Learned in 60 Years? **Front. Psychol.** 7:508, Apr, 2016.

DOWKER, ann, BENNETT, Karina, SMITH, Louise. Research Article Attitudes to Mathematics in Primary School Children. **Child Development Research**. 8, Nov 2012.

DUNCAN GJ, DOWSETT CJ, CLAESSENS A., MAGNUSON K., HUSTON AC, KLEBANOV PK, et al. School readiness and later achievement, **Dev. Psychol.** 43: 1428-1446, 2007.

EVANS S, SEIDMAN LC, TSAO JC, LUNG, KC, ZELTZER, LK, NALIBOFF, BD. Heart rate variability as a biomarker for autonomic nervous system response differences between children with chronic pain and healthy control children. **J Pain Res.** 12(6) :449–57, Jun 2013.

EYSENCK, Michael, G. CALVO, Manuel. (1992). Anxiety and Performance: The Processing Efficiency Theory. **Cognition & Emotion**, 6: 409-434, Jan 2008.

FALES, C.L., BARCH, D.M., RUNDLE, M.M., MINTUN, M.A., SNYDER, A.Z., COHEN, J.D., MATHEWS J, SHELINE YI. Altered emotional interference processing in affective and cognitive control brain circuitry in major depression. **Biol. Psychiatry**, 63 (4): 377-384, Feb 2008.

FAUST, M. W. **Analysis of physiological reactivity in mathematics anxiety** (Unpublished doctoral dissertation, Bowling Green State University, Bowling Green, Ohio, 1992.

FAUST, MICHAEL. Mathematics Anxiety Effects in Simple and Complex Addition. **Mathematical Cognition**. 2(1): 25-62, set. 2010.

FENNEMA E, SHERMAN J A. Mathematics attitudes scales: Instruments designed to measure attitudes toward the learning of mathematics by females and males. **J Res Math Educ.**;7 (5): 324–326, Nov 1976.

FIOL-VENY A., DE LA TORRE-LUQUE A., BALLE M, BORNAS X. Diminished heart rate complexity in adolescent girls: a sign of vulnerability to anxiety disorders? **Anxiety Stress Coping**, 31(4): 375-386, Jul 2018.

FRIEDMAN, B. H. An autonomic flexibility–neurovisceral integration model of anxiety and cardiac vagal tone. **Biological Psychology**, 74 (2), 185–199, Fev 2007.

FUSTER, JOAQUIM M. Frontal lobe and cognitive development. **Journal of Neurocytology**, 31 (3-5): 373–385, Mar-Jun, 2002.

GANLEY, Colleen M.; VASILYEVA, Marina. The Role of Anxiety and Working Memory in Gender Differences in Mathematics. **Journal of Educational Psychology**, 106(1): 105-120 Feb 2014.

GEARY, David , WIDAMAN, Keith. Numerical cognition: On the convergence of componential and psychometric models. **Intelligence**. 16(1): 47–80, Jan-Mar 1992.

GILES, D, DRAPER, N, NEIL, W. Validity of the Polar V800 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. **European Journal of Applied Physiology**. 116(3):563-71, Mar 2016.

GOLDBERGER AL, MIETUS JE, RIGNEY DR, WOOD ML, FORTNEY SM. Effects of head-down bed rest on complex heart rate variability: Response to LBNP testing. **J Appl Physiol** 77(6): 2863–2869, Dec 1994.

GORAYEB, Maria Angela M.; GORAYEB, Ricardo. O que penso e sinto- adaptação da Revised Children’s Manifest Anxiety Scale (RCMAS) para o português. **Temas em Psicologia**., Ribeirão Preto, 16 (1): 35-45, jun 2008.

GUNDERSON, E. A., PARK D., MALONEY E. A., BEILOCK S. L., LEVINE S. C. Reciprocal relations among motivational frameworks, math anxiety, and math achievement in early elementary school. **J. Cogn. Dev.** 19: 21–46, 2018.

HANSEN, A. L., JOHNSEN, B. H. THAYER, J. F. Vagal influence on working memory and attention. **Int. J. Psychophysiol.** 48(3): 263–274, Jun 2003.

HARARI, RACHEL R., VUKOVIC, Rose K. e BAILEY, Sean P. (2013). Mathematics Anxiety in Young Children: An Exploratory Study. **The journal of experimental education**, 81(4), 538–555, jul 2013.

HASHER, Lynn, T. ZACKS, Rose. Working Memory, Comprehension, and Aging: A Review and a New View. **The Psychology of Learning and Motivation**. 22. 193-225, 1988.

HEMBREE, R. The nature, effects, and relief of mathematics anxiety. **Journal for Research in Mathematics Education**, 21(1), 33-46, Jan 1990.

HLALEIE, Dipane. Exploring rural high school learners’ experience of mathematics anxiety in academic settings. **South African Journal of Education**, 32(3): 267-278, Ago 2012.

HO, Hsiu-Zu. DENIZ, Senturk, AMY G. LAM, Jules M. ZIMMER, SEHEE Hong, YUKARI Okamoto, SOU-YUNG CHIU, YASUO, Nakazawa, CHANG-PEI WANG S. The Affective and Cognitive Dimensions of Math Anxiety: A Cross-National Study. **Journal for Research in Mathematics Education**, 31(3): 362-379, May 2000.

Hoffmann A, Ettinger U, Reyes Del Paso GA, Duschek S. Executive function and cardiac autonomic regulation in depressive disorders. **Brain Cogn.** 118:108-117, Nov 2017.

HOLZMAN J B, BRIDGETT D J. Heart rate variability indices as bio-markers of top-down self-regulatory mechanisms: A meta-analytic review. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, 74: 233-255, Mar 2017.

HOPKO, D R, MCNEIL, D W, GLEASON P J, RABALAIS, A E. The Emotional Stroop Paradigm: Performance as a Function of Stimulus Properties and Self-Reported Mathematics Anxiety. **Cognitive Therapy and Research**, 26 (2): 157–166, Apr 2002.

HOPKO, D. R., MAHADEVAN, R., BARE, R. L., HUNT, M. A. The Abbreviated Math Anxiety Scale (AMAS): Construction, validity, and reliability. **Assessment**, 10 (2): 178-182, Jul 2003.

HOPKO, Derek, ASHCRAFT, Mark, GUTE, James, RUGGIERO, Kenneth, LEWIS, Colleen. Mathematics Anxiety and Working Memory: Support for the Existence of a Deficient Inhibition Mechanism. **Journal of Anxiety Disorders**. 12 (4). 343-355, Jul-Ago 1998.

JANSEN BRJ, SCHMITZ, EA, VAN DER MAAS, HLJ. Affective and Motivational Factors Mediate the Relation between Math Skills and Use of Math in Everyday Life. **Front. Psychol.** 7:513, Apr 2016.

JONES, William J; CHILDERS, TERRY, L; JIANG, Yang. The shopping brain: Math anxiety modulates brain responses to buying decisions. **Biological Psychology**, 89(1): 201-213, Jan 2012.

Journal of Neuroscience, **September 9, 2015 • 35(36):12574 –12583**

KAPLAN, D. T., FURMAN, M. I., PINCUS, S. M., RYAN, S. M., LIPSITZ, L. A., GOLDBERGER, A. L. Aging and the complexity of cardiovascular dynamics. **Biophysical journal**, 59(4), 945-949, Apr 1991.

KIM, H.-G., CHEON, E.-J., BAI, D.-S., LEE, YH e KOO, B.-H. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. **Psychiatry Investigation.**, 15(3): 235-245, Mar 2018.

KLADOS MA, SIMOS P, MICHELOYANNIS S, MARGULIES D, BAMIDIS PD. ERP measures of math anxiety: how math anxiety affects working memory and mental calculation tasks? **Front. Behav. Neurosci**, 9:282, Oct 2015.

KLADOS, Manousos A, PANDRIA, Niki MICHELOYANNIS, SIFIS, MARGULIES, Daniel, PANAGIOTIS D. BAMIDIS. Math anxiety: Brain cortical network changes in anticipation of doing mathematics. **International Journal of Psychophysiology**, 122: 24-31, Dec. 2017.

KRINZINGER, H., KAUFMANN, L. WILLMES, L. Math anxiety and math ability in early primary school years. **Journal of Psychoeducational Assessment**, 27(3): 206-225. Jun 2009.

- KUSHKI, Azadeh, DRUMM, Ellen, MOBARAK, Michele Pla, TANEL, Nadia DUPUIS, Annie Chau, TOM , ANAGNOSTOU, Evdokia. Investigating the Autonomic Nervous System Response to Anxiety in Children with Autism Spectrum Disorders. *Plos One*. 8(4), Apr 2013
- KVEDERE, Liene. Mathematics Self-Efficacy, Self-Concept and Anxiety Among 9th Grade Students in Latvia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 116: 2687- 2690, Feb 2014.
- LABORDE S, FURLEY P, SCHEMPP C. The relationship between working memory, reinvestment, and heart rate variability, *Physiol Behav*, 139 :430-6, Feb 2015.
- LABORDE, S., MOSLEY, E, MERTGEN, A. A unifying conceptual framework of factors associated to cardiac vagal control, *Heliyon*, 4 (12), Dec 2018.
- LABORDE, S., Mosley, MERTGEN, A. A unifying conceptual framework of factors associated to cardiac vagal control. *Heliyon*, 8;4(12), Dec 2018.
- LAMM, Claus. DECETY, Jean, SINGER, Tania. Meta-analytic evidence for common and distinct neural networks associated with directly experienced pain and empathy for pain. *NeuroImage* 54(3): 2492–2502, Feb, 2011.
- LEE, Kyungmin, CHO, Soohyun. Magnitude processing and complex calculation is negatively impacted by mathematics anxiety while retrieval-based simple calculation is not: selective impact of mathematics anxiety. *International Journal of Psychology*. 53(4): 321-329, Ago 2018.
- LIEBERT, Robert M. MORRIS. LARRY W. Cognitive and Emotional Components of Test Anxiety: A Distinction and Some Initial Data, *Psychological Reports*, 20(3): 975-978, 1967
- LIPSITZ, L. A. Dynamics of Stability: The Physiologic Basis of Functional Health and Frailty. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57(3): B115–B125, Mar 2002.
- LIVINGSTON, Alexander, MARTRAY, Carl R. The Development of an Abbreviated Version of the Mathematics Anxiety Rating Scale. *Jornal Measurement and Evaluation in Counseling and Development* , 22 (3), 143-150, Out 1989.
- LYONS IM, BEILOCK SL. When Math Hurts: Math Anxiety Predicts Pain Network Activation in Anticipation of Doing Math. *Plos One* 7(10), Oct 2012.
- LYONS, Ian M. BEILOCK, Sian L. Mathematics Anxiety: Separating the Math from the Anxiety. *Cerebral Cortex* , 22(9): 2102- 2110, Sep 2012.
- MA X, CARTWRIGHT F A. A Longitudinal Analysis of Gender Differences in Affective Outcomes in Mathematics During Middle and High School. *School Effectiveness and School Improvement*, 14(4): 413-439, Dec 2003.
- MA X, XU J. Determining the causal ordering between attitude toward mathematics and achievement in mathematics. *American Journal of Education*, 110(3):256-280, May 2004.

MA, X., E KISHOR, N. Assessing the relationship between attitude toward mathematics and achievement in mathematics: a meta-analysis. *Journal for Research in Mathematics Education*. 28 (1): 26-47, Jan 1997.

MALONEY, E. A, ANSARI, D, FUGELSANG, J.A.(2011).The effect of mathematics anxiety on the processing of numerical magnitude. *Q.J.Exp.Psychol.* 64(1): 10–16, Jan 2011.

MALONEY, EA, & BEILOCK, SL. Mathematical anxiety: who has it, why it develops and how to protect itself against it. *Trends in cognitive sciences*, 16(8): 404-6, Jul 2012.

MATA, M.D.L., MONTEIRO, V. e PEIXOTO, F. Attitudes towards mathematics: effects of individual motivational and social support factors. *Child Development Research*, 2012, Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/cdr/2012/876028/>, acesso em: 10/02/2019.

MCCRATY R, SHAFFER F. Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health risk. *Glob Adv Health Med*, 4(1): 46–61, Jan 2015.

MCCRATY, R., ATKINSON, M., TOMASINO, D., BRADLEY, R. T. The coherent heart: heart-brain interactions, psychophysiological coherence, and the emergence of system-wide order. *Integral Rev.* 5(2): 10–115, Dec 2009.

MCKIERNAN, K. A., KAUFMAN, J. N., KUCERA-THOMPSON, J., BINDER, J. R. A parametric manipulation of factors affecting task-induced deactivation in functional neuroimaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(3): 394–408, Apr 2003.

MEECE JL, WIGFIELD A, Eccles JS. Predictors of math anxiety and its influence on young adolescents' course enrollment intentions and performance in mathematics. *Journal of Educational Psychology*, 82(1):60–70, Mar 1990.

MELILLO, P., BRACALE, M., PECCHIA, L. Nonlinear Heart Rate Variability features for real-life stress detection. Case study: students under stress due to university examination. *Biomedical engineering online*, 10: 96, Nov 2011.

MENON, V., RIVERA, S. M., WHITE, C. D., GLOVER, G. H., REISS, A. L. (2000). Dissociating prefrontal and parietal cortex activation during arithmetic processing. *NeuroImage*, 12(4): 357–365, Oct 2000.

MENON, Vinod. Developmental cognitive neuroscience of arithmetic: implications for learning and education. *ZDM*, 42(6): 515–525, Oct 2010

MONACO A, CATTANEO R, ORTU E, CONSTANTINESCU MV, PIETROPAOLI D. Sensory trigeminal ULF-TENS stimulation reduces HRV response to experimentally induced arithmetic stress: A randomized clinical trial. *Physiology & Behavior*, 173:209-215, May 2017.

MORRIS, LW, DAVIS, MA e HUTCHINGS, CH. Cognitive and emotional components of anxiety: Literature review and a revised worry-emotionality scale. **Journal of Educational Psychology**, 73(4), 541-555, Sep 1981.

MORSANYI, Kinga BUSDRAGHI, Chiara , Primi.Caterina Mathematical anxiety is linked to reduced cognitive reflection: a potential road from discomfort in the mathematics classroom to susceptibility to biases. **Behavioral and Brain Functions**, 10:31, 2014

MOUROT, L., BOUHADDI, M., PERREY, S., CAPPELLE, S., HENRIET, M.T., WOLF, J.P., ROUILLON, J.D., REGNAR, J. Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. **Clinical Physiology Functional Imaging** 24(1): 10–18, Jan 2004.

MOUSTAFA, Ahmed; TINDLE, Richard; ANSARI, Zaheda; DOYLE, Margery, HEWEDI, Doaa ; EISSA, Abeer. Mathematics, anxiety, and the brain. **Reviews in the Neurosciences**. 28(4): 417-429, May 2017.

MUTODI, Paul. NGIRANDE, Hlanganipai Exploring Mathematics Anxiety: Mathematics Students' Experiences. **Mediterranean Journal of Social Sciences**, 5(1), 2014.

NIKOLIN, S., BOONSTRA, T. W., LOO, C. K., & MARTIN, D. Combined effect of prefrontal transcranial direct current stimulation and a working memory task on heart rate variability. **Plos one**, 12(8), 2017.

NÚÑEZ-PEÑA MI e SUÁREZ-PELLICIONI M (2015) Processing of multi-digit additions in high math-anxious individuals: psychophysiological evidence. **Front. Psychol.** 6:1268, Aug 2015.

NÚÑEZ-PEÑA, M. Isabel, SUÁREZ-PELLICIONI, Macarena. Less precise representation of numerical magnitude in highmath-anxious individuals: An ERP study of the sizeand distance effects. **Biological Psychology** 103: 176–183, Dec 2014.

OECD, 2016. “**Mathematics self-beliefs and participation in mathematics-related activities,**” in **PISA 2012 Results: Ready to Learn** (Volume III), Students' Engagement, Drive and Self-Beliefs (Paris: OECD Publishing), 87–112

OH, Jihoon, CHAE, Jeong-Ho. Linear and Nonlinear Dynamics of Heart Rate Variability are Correlated with Purpose in Life and Degree of Optimism in Anxiety Disorder Patients. **Nonlinear dynamics, psychology, and life sciences**, 22(2): 173-190, Apr 2018.

OSEI-BOADI, Brenda, "The Role of Working Memory Capacity in Math Performance" Undergraduate Honors Theses. Paper 34, 2016.

OWENS, Matthew & STEVENSON, Jim & HADWIN, Julie & NORGATE, Roger Anxiety and depression in academic performance: An exploration of the mediating factors of worry and working memory. **School Psychology International**, 33 (4), 2012

PANICCIA M, PANICCIA D, THOMAS S, TAHA T4, REED N. (2017). Clinical and non-clinical depression and anxiety in young people: A scoping review on heart rate variability. **Autonomic Neuroscience: basic & clinical**. 208:1-14. Dec 2017.

- PEKRUN, Reinhard. LICHTENFELD, Stephanie. MARSH, Herbert W. MURAYAMA, Kou. GOETZ, Thomas. Achievement Emotions and Academic Performance: Longitudinal Models of Reciprocal Effects. **Child Development**, 88(5): 1653-167, Sep 2017.
- PERRY D-G, BUSSEY K. The social learning theory of sex differences: Imitation is alive and well. **Journal of Personality and Social Psychology**. 37(10):1699–1712, Oct 1979.
- PESSOA L. On the relationship between emotion and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*.:9(2):148–158, Feb 2008.
- PHELPS E. A, LEDOUX JE. Contributions of the amygdala to emotion processing: from animal models to human behavior, **Neurônio**, 48(2) : 175-187, Oct 2005.
- PINCUS SM, GOLDBERGER AL. Physiological time-series analysis: What does regularity quantify? **American Journal of Physiology**, 266(4, pt 2): H1643–H1656, 1994, Apr 1994.
- PINCUS, SM, VISCARELLO, RR. Approximate entropy: a regularity measure for fetal heart rate analysis. **Obstet Gynecol**. 79(2) :249-55, Feb 1992.
- PIZZIE, Rachel G. KRAEMER, David J.M. Avoiding math on a rapid timescale: Emotional responsivity and anxious attention in math anxiety, **Brain and Cognition**, 118 100–107, Nov 2017.
- PLETZER B, Kronbichler M, NUERK H-C e Kerschbaum, H.H. Mathematics anxiety reduces default mode network deactivation in response to numerical tasks. **Front. Hum. Neurosci**. 9:202, Apr 2015.
- PORGES, S. W. The polyvagal perspective. **Biol. Psychol**. 74: 116–143, 2007.
- RADHAKRISHNAN, N., GANGADHAR, B. N. Estimating regularity in epileptic seizure time-series data, **IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine**, 17(3), 89–94, May/Jun 1998.
- RAMÍREZ, E., ORTEGA, A R, REYES, DEL PASO G A. Anxiety, attention, and decision making: The moderating role of heart rate variability. **International Journal of Psychophysiology**, 98(3 Pt 1):490-6, Dec 2015.
- RAMIREZ, G., SHAW S. T., MALONEY E. A. Math anxiety: past research, promising interventions, and a new interpretation framework. **Educ. Psychol**. 53: 145–164, 2018.
- RAMIREZ, Geraldo., GUNDERSON, E. A., LEVINE, S. C., BEILOCK, S. L. (2013). Math anxiety, working memory and math achievement in early elementary school. **Journal of Cognition and Development**, 14(2), Jan 2012.
- REYNOLDS, C. R., RICHMOND, B. O. **RCMAS-2 Revised Children’s Manifest Anxiety Scale–Second Edition**. Florence: Giunti O.S. Organizzazioni Speciali, 2012.
- RICHARDSON, F. C., & SUINN, R. M. The Mathematics Anxiety Rating Scale. **Journal of Counseling Psychology**, 19(6), 551-554, 1972.

RICHMAN, Joshua, MOORMAN, Joseph. Physiological Time-Series Analysis Using Approximate Entropy and Sample Entropy. **American journal of physiology. Heart and circulatory physiology**. 278(6): H2039-49, Jun 2000

ROBERT, M., SAVOIE N. Are there gender differences in verbal and visuospatial working-memory resources? **European Journal of Cognitive Psychology** , 18(3), 378–397, Feb 2007.

RUBINSTEN, Orly e TANNOCK, Rosemary. Mathematics anxiety in children with developmental dyscalculia. **Behavioral and Brain Functions**, 6:46, Jul 2010.

SAMBATARO F, Murty V, LEMAITRE H, REED, JD DAS, S, GOLDBERG, TE, CALLICOTT, JH, WEINBERGER, DR, MATTAY, VS. BDNF modulates normal human hippocampal ageing. **Molecular psychiatry**, 15(2):116-118, Feb 2010.

SANDMAN RS. **Factors related to mathematics anxiety in the secondary school. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, California; 1979.**

SARKAR, Amar. DOWKER, Ann, KADOSH, Roi Cohen. Cognitive Enhancement or Cognitive Cost: Trait-Specific Outcomes of Brain Stimulation in the Case of Mathematics Anxiety. **The Journal of Neuroscience**, 34(50): 16605–16610, Dec. 2014.

SCHUBERT C, LAMBERTZ M, NELESEN RA, BARDWELL W, CHOI JB, DIMSDALE JE. Effects of stress on heart rate complexity: a comparison between short-term and chronic stress. **Biological Psychology**, 80(3): 325–332, Mar 2009.

SHAFFER, F., MCCRATY, R. e ZERR, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart’s anatomy and heart rate variability. **Front. Psychol.** 5:1040

SHAFFER, Fred , GINSBERG J. P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. **Front Public Health**, 5: 258, Sep 2017.

SHARMA, Rajiv KUMAR et al. “Estudo de variabilidade da frequência cardíaca de transtornos de ansiedade na infância” **Journal of cardiovascular disease research** vol. 2,2 115-22, 2011

SHI Z, LIU P (2016) Worrying Thoughts Limit Working Memory Capacity in Math Anxiety. **Plos One**, 11(10), Oct 2016.

SLOAN RP, KORTEN JB, MYERS MM. Components of heart rate reactivity during mental arithmetic with and without speaking. **Physiology & Behavior**, 50(5):1039–45, Nov 1991.

SMITH, R., THAYER, J. F., KHALSA, S. S., LANE, R. D. The hierarchical basis of neurovisceral integration. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, 75, 274–296, 2017.

SPELKE E. Sex differences in intrinsic aptitude for mathematics and science? A critical review. **American Psychologist**. 60(9): 950–958, Dec 2005.

SUÁREZ-PELLICIONI M, NUÑEZ-PENˆA MI, COLOME´ A. Reactive Recruitment of Attentional Control in Math Anxiety: An ERP Study of Numeric Conflict Monitoring and

Adaptation. **Plos One** 9(6), Jun 2014.

SUÁREZ-PELLICIONI M, NÚÑEZ-PEÑA MI, Colomé À. Abnormal Error Monitoring in Math-Anxious Individuals: Evidence from Error-Related Brain Potentials. **Plos One** 8(11), Nov 2013.

SUÁREZ-PELLICIONI, M. M.I. NÚÑEZ-PEÑA, A. Colomé. Mathematical anxiety effects on simple arithmetic processing efficiency: An event-related potential study. **Biological Psychology** 94 (3) 517– 526, Dec 2013.

SUÁREZ-PELLICIONI, Macarena; NÚÑEZ-PEÑA, María Isabel, COLOMÉ, Àngels. Math anxiety: A review of its cognitive consequences, psychophysiological correlates, and brain bases. **Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience**, 16(1):3–22, Feb 2016.

SUINN, Richard M, TAYLOR, Susan, EDWARDS, Ruth. The Suinn Mathematics Anxiety Rating Scale (MARS-E) for Hispanic Elementary School Students. **Hispanic Journal of Behavioral Sciences**, 11(1):83-90, Feb 1989.

SUINN, Richard M. Susan. Edwards, Taylor Ruth W. Mathematics Anxiety Rating Scale for Elementary School Students (MARS-E): Psychometric and Normative Data. **Educational and Psychological Measurement**, 48(4): 979-986, 1988.

SWANSON, H. Lee, FRANKENBERGER, Margaret Beebe. The Relationship Between Working Memory and Mathematical Problem Solving in Children at Risk and Not at Risk for Serious Math Difficulties. **Journal of Educational Psychology**, 96(3): 471-491, 2004.

TAPIA M. The relationship of math anxiety and gender. **Academic Exchange Quarterly**. 8(2):130–134, 2004.

THAYER JF, HANSEN AL, SAUS-ROSE E, JOHNSEN BH. Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: the neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. **Annals of Behavioral Medicine**, 7(2):141-53. Apr 2009;

THAYER, J. F. Heart Rate Variability: A Neurovisceral Integration Model. **Encyclopedia of Neuroscience**, 1041–1047, 2009.

THAYER, J. F., LANE, R. D. A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. **Journal of Affective Disorders**, 61(3), 201–216, 2000.

THAYER, JF, ÅHS, F., FREDRIKSON, M., SOLLERS, JJ, & WAGER, TD. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, 36 (2), 747-756, Feb 2012.

THAYER, JF, LANE, RD. Claude Bernard and the heart-brain connection: further elaboration of a model of neurovisceral integration. **Neurosci Biobehav Rev.**, 33 (2) :81-88, Feb 2009.

THAYER, Julian & H. FRIEDMAN, Bruce. Assessment of anxiety using heart rate nonlinear dynamics. **Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 2036**. 42-48, 1993.

THOMAS, G., & DOWKER, A. Mathematics anxiety and related factors in young children. Paper presented at the **British Psychological Society Developmental Section Conference**, Bristol, UK. Sep 2000.

TSUJI H, LARSON MG, VENDITTI FJ Jr, MANDERS ES, EVANS JC, FELDMAN CL, LEVY, D. Impact of reduced heart rate variability on risk for cardiac events. The Framingham Heart Study. **Circulation**. 94(11):2850-5, Dec 1996.

VAILLANCOURT DE, NEWELL KM. Changing complexity in human behavior and physiology through aging and disease. **Neurobiol Aging** 23(1): 1- 11, Jan/Feb, 2002.

VAN DER BEEK, JPJ, VAN DER VEM, SHG, KROESBERGEN EH, LESEMAN, PPM. Self-concept mediates the relation between achievement and emotions in mathematics. **British Journal of Educational Psychology**. 87(3): 478-495, Sep 2017.

VUKOVIC, R.K., KIEFFER, M.J., BAILEY, S. P, HARARI, R.R. Mathematics anxiety in young children: concurrent and longitudinal associations with mathematical performance. **Contemporary Educational Psychology**, 38(1): 1–10, Jan 2013.

VUKSANOVIĆ, V., GAL, V. Heart rate variability in mental stress aloud. **Medical Engineering & Physics**, 29(3), 344–349, Apr 2007.

WENDELKEN, Carter. Meta-analysis: how does posterior parietal cortex contribute to reasoning? **Front Hum Neurosci**, 8:1042. Jan 2015.

WIEDEMANN, Klaus. Anxiety and Anxiety Disorders. University Hospital Hamburg Eppendorf, Hamburg, Germany. **Elsevier**, 2015. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/6b27/4864aff993bd333cc96bbb871c1e2ab48894.pdf>, acesso em: 30/01/2019

WIGFIELD A., MEECE J. L. Math anxiety in elementary and secondary school students. **Journal of Educational Psychology**, 80(2): 210–216., 1988.

WIGFIELD, ALLAN & ECCLES, JACQUELYNNE. (1992). The Development of Achievement Task Values: A Theoretical Analysis. **Developmental Review**. 12(3): 265-310, Sep 1992.

WITT, M. (2011). School based working memory training: preliminary finding of improvement in children's mathematical performance. **Advances in Cognitive Psychology**. 7: 7–15, Jul 2010.

WOODART T. The effects of math anxiety on post-secondary developmental students as related to achievement, gender, and age. **Virginia Math Teacher**, 9(1): 7-9, 2004.

WU, S. S., BARTH, M., AMIN, H., MALCARNE, V., MENON, V. Math anxiety in second and third graders and its relation to mathematics achievement, **Frontiers Psychology**, 3:162, Jun 2012.

YERAGANI, V. K., KRISHNAN, S., ENGELS, H. J., GRETEBECK, R. Effects of caffeine on linear and nonlinear measures of heart rate variability before and after exercise. **Depression and Anxiety**, 21(3), 130–134, 2005.

YOUNG, Christina B., WU, Sarah S., MENON, Vinod. The Neurodevelopmental Basis of Math Anxiety. **Psychological Science** 23(5) 492–501, May 2012.

YOUNG, Hayley, BENTON, David. We should be using nonlinear indices when relating heart-rate dynamics to cognition and mood. **Scientific Reports**. 5, Nov 2015.

YÜKSEL-ŞAHİN F. Mathematics anxiety among 4th and 5th grade Turkish elementary school students. **International Electronic Journal of Mathematics Education** , 3(3): 179-192, Oct 2008.

Apêndice A- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

(Nome do aluno, nacionalidade, idade, endereço)

_____ neste ato representado por mim, (*nome do representante legal, nacionalidade, idade, estado civil, profissão, endereço, grau de parentesco com o participante da pesquisa ou qualificação como tutor ou curador*) _____ está sendo convidado a participar do estudo denominado **Implicações da atividade física em crianças com ansiedade matemática** cujo objetivo destina-se *investigar as implicações da atividade física em crianças com ansiedade matemática*.

A Ansiedade Matemática está relacionada ao baixo desempenho na disciplina, podendo causar consequências tanto na vida acadêmica quanto cotidiana do aluno. Há estudos bem estabelecidos mostrando que a ansiedade matemática se desenvolve em crianças, podendo evoluir para os anos escolares subsequentes. Por outro lado, pesquisas evidenciam melhoras no desempenho matemático em alunos que realizaram atividades físicas específicas. Nesse sentido, pretende-se analisar a atividade física como fator de redução/reversão da ansiedade matemática, e que pode, por sua vez, apresentar efeitos positivos no desempenho matemático dos participantes.

A participação de seu representado no referido estudo será no sentido de responder à um questionário que avalia o grau de ansiedade matemática, participar de testes de desempenho matemático, teste neuropsicológico, bem como de atividade física que serão acompanhados pela equipe de pesquisadores.

Fica informado de que, da pesquisa a se realizar, é possível esperar alguns benefícios para a criança, tais como: melhora no desempenho matemático e redução no nível de ansiedade matemática.

Por outro lado, fica informado os esclarecimentos necessários sobre os possíveis desconfortos decorrentes do estudo, tais como o desconforto de responder a questionários e questões matemáticas e indisposição para realizar atividade física.

A privacidade da criança será respeitada, de modo que seu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de qualquer forma, o (a) identificar, será mantido em sigilo.

Fica informado que pode haver recusa à participação no estudo, bem como pode ser retirado o consentimento a qualquer tempo, sem precisar haver justificativa. Ao sair da pesquisa, não haverá qualquer prejuízo a criança participante.

Os pesquisadores envolvidos com o referido projeto são: Professor Marcos Guilherme Moura Silva, aluno de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Educação em Ciências e Matemática da

Universidade Federal do Pará; Doutor Tadeu Oliver Gonçalves, Professor Titular da Universidade Federal do Pará, Doutor João Bento Torres Neto, Professor Adjunto da Universidade Federal do Pará, professora Alessandra Tomaz, e com eles poderei manter contato pelos telefones: 91-98108-3765; 91- 98149-7669; 91- 98843-1058, 91- 99266-0076, respectivamente.

É assegurada a assistência do meu representado durante toda a pesquisa, bem como lhe é garantido o livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que eu queira saber antes, durante e depois da participação de _____(nome do aluno).

Tendo sido orientado quanto ao teor de todo o aqui mencionado e compreendido a natureza e o objetivo do estudo, autorizo a participação de _____ (nome do aluno) na referida pesquisa, estando totalmente ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, pela participação.

Em caso de reclamação ou qualquer tipo de denúncia sobre este estudo devo contatar com o conselho de Ética em Pesquisa, localizado na Rua Augusto Corrêa nº 01-Sl do ICS 13 - 2º andar, Campus Universitário do Guamá, Belém-PA, Telefone: (91)3201-7735.

Belém, de de 2017.

(Assinatura e RG do representante legal do aluno)

Prof. Msc. Marcos Guilherme Moura Silva
Pesquisador Responsável

Apêndice B- Ficha de Avaliação Geral

Data: ____/____/____

Ficha de Avaliação Geral

1. Dados Pessoais:

Nome _____

Sexo: F() M() Data de nascimento: ____/____/____ Fone 1: _____

Cor/Raça: _____ Nº. de pessoas na residência (incluindo a criança): ____ Fone 2: _____

Endereço: _____

Escolaridade: Criança: _____ anos País: _____ anos

2. Patologias Diagnosticadas (história anterior e atual)

- () Sim* () Não () ignorado
- () neoplasia () diabetes mellitus () cardiopatia () hipercolesterolemia atual ou passada
- () *angina pectoris* () hipotireoidismo () hipertireoidismo () hipertensão arterial sistêmica
- () arteriosclerose () depressão () asma () Trauma crânio-encefálico
- () alergias () doença reumática () doença ortopédica () doença pulmonar obstrutiva crônica
- () epilepsia () doença renal crônica () Infecções recorrentes _____
- () desnutrição () labirintite () anemia () encefalites
- () outras: _____

*Especifique: _____

3. Faz uso de Medicamentos ou suplementação: (Incluir medicamentos naturais)

Droga/dose: _____/_____/_____

_____/_____/_____

_____/_____/_____

_____/_____/_____

4. Hábitos:

Água consumida: () Cosanpa () Poço artesiano () Tratamento caseiro () Mineral

Leitura voluntária: () Sim () Não

O que costuma fazer no lazer? () Assistir filmes, desenhos e TV () Atividades ao ar livres () Jogos eletrônicos

() Outras: _____

4.1 Hábitos alimentares:

Frutas: () Não consome () 1 a 3x/semana () 4 a 6x/semana () 5x/semana ou mais

Verduras e legumes: () Não consome () 1 a 3x/semana () 4 a 6x/semana () 5x/semana ou mais

Refrigerantes: () Não consome () 1 a 3x/semana () 4 a 6x/semana () 5x/semana ou mais

Doces: () Não consome () 1 a 3x/semana () 4 a 6x/semana () 5x/semana ou mais

Fast food (Batata frita, hambúrguer, etc.): () Não consome () 1 a 3x/semana () 4 a 6x/semana () 5x/semana ou mais

Outros: _____

5. Exercício físico:**Já praticou alguma atividade que não pratica mais?** () Sim () Não

Qual(is)? _____

Há quanto tempo parou? _____

Por quanto tempo fez? _____

Qual frequência semanal? _____

Pratica atualmente? () Sim () Não

Qual(is)? _____

Há quanto tempo? _____

Qual frequência semanal? _____

Apêndice C- Ficha de Avaliação do Protocolo- EXAM

IDENTIFICAÇÃO: (Nome Completo do participante seguido do código: Iniciais do nome + Mês e ano de nascimento + Dia e Mês da coleta + Sigla do Grupo do qual faz parte (AMAF, AMSAF, SAMAF, SAMSAF): Exemplo: Fulano de tal- FT01901904AMAF)			
ID: _____		Data: _____ Hora: _____	
Ansiedade Matemática- AM	()	Sem Ansiedade Matemática- SAM	()
Exercício Físico	()	Sem Exercício Físico	()
Verificar posição da filmadora- ângulo voltado à tela do computador, registrando simultaneamente a tela do frequencímetro			
Buscar o aluno em sala e colocar o frequencímetro;			
Consumo de cafeína?			
Registro da frequência cardíaca (bpm) em estado basal (após 5 minutos de completo repouso)			
<p>Teste de Matemática: 20 questões de aritmética do tipo $(a \times b) - c = ?$, 5 fáceis, 10 de nível médio e 5 de nível difícil, onde o aluno deverá relatar o resultado usando cálculo mental; [+/- 10 min.]</p>			
Tempo de Resposta e acerto por questão	01	Resposta: 5	☑ ☒
	02	Resposta: 1	☑ ☒
	03	Resposta: 4	☑ ☒
	04	Resposta: 1	☑ ☒
	05	Resposta: 1	☑ ☒
	06	Resposta: 6	☑ ☒
	07	Resposta: 8	☑ ☒
	08	Resposta: 17	☑ ☒
	09	Resposta: 27	☑ ☒
	10	Resposta: 39	☑ ☒
	11	Resposta: 29	☑ ☒
	12	Resposta: 37	☑ ☒
	13	Resposta: 24	☑ ☒
	14	Resposta: 19	☑ ☒
	15	Resposta: 9	☑ ☒
	16	Resposta: 59	☑ ☒
	17	Resposta: 45	☑ ☒
	18	Resposta: 57	☑ ☒
	19	Resposta: 49	☑ ☒
	20	Resposta: 55	☑ ☒
Tempo Total do Teste			
Precisão de resposta (Quantidade total de respostas corretas)			

Teste Neuropsicológico (Função Inibitória) [+/- 7 min.]			
Atividade Física- 20 minutos em esteira motorizada, mantendo 70% da frequência cardíaca máxima durante toda a atividade/ 20 minutos em completo repouso			
Início:	Final:		
Registro do tempo em que a frequência alvo foi atingida			
<i>Após a atividade física, aguardar a frequência retornar ao estado basal, verificado no início do experimento.</i>			
Teste de Matemática: 10 questões de aritmética do tipo $(a \times b) - c =$, 5 fáceis e 5 difíceis, onde o aluno deverá relatar o resultado usando cálculo mental; [+/- 10 min.]			
Tempo de Resposta e acerto por questão		Gabarito	Acertou?
	01	Resposta: 5	✓ ⊗
	02	Resposta: 5	✓ ⊗
	03	Resposta: 3	✓ ⊗
	04	Resposta: 3	✓ ⊗
	05	Resposta: 1	✓ ⊗
	06	Resposta: 19	✓ ⊗
	07	Resposta: 7	✓ ⊗
	08	Resposta: 18	✓ ⊗
	09	Resposta: 28	✓ ⊗
	10	Resposta: 31	✓ ⊗
	11	Resposta: 28	✓ ⊗
	12	Resposta: 39	✓ ⊗
	13	Resposta: 29	✓ ⊗
	14	Resposta: 14	✓ ⊗
	15	Resposta: 16	✓ ⊗
	16	Resposta: 58	✓ ⊗
	17	Resposta: 57	✓ ⊗
	18	Resposta: 45	✓ ⊗
	19	Resposta: 56	✓ ⊗
20	Resposta: 35	✓ ⊗	
Tempo Total do Teste			
Precisão de resposta (Quantidade total de respostas certas)			
Teste Neuropsicológico (Função Inibitória) [+/- 7 min.]			

Finalização do protocolo, retorno do aluno para sala de aula e higienização dos equipamentos;	
---	--

Assinatura do Pesquisador responsável

Apêndice D: Equações do Teste de Desempenho Matemático

$(1 \times 8) - 3 =$	$(3 \times 2) - 5 =$	$(2 \times 3) - 2 =$	$(4 \times 2) - 7 =$
$(9 \times 1) - 8 =$	$(4 \times 5) - 14 =$	$(7 \times 3) - 13 =$	$(8 \times 4) - 15 =$
$(4 \times 2) - 5 =$	$(3 \times 2) - 3 =$	$(2 \times 4) - 3 =$	$(1 \times 9) - 4 =$
$(8 \times 4) - 14 =$	$(7 \times 3) - 14 =$	$(4 \times 8) - 13 =$	$(8 \times 1) - 7 =$
$(8 \times 5) - 13 =$	$(8 \times 5) - 12 =$	$(9 \times 5) - 14 =$	$(9 \times 6) - 15 =$

ANEXO A- Parecer de Aprovação do Conselho de Ética em Pesquisa

UFPA - INSTITUTO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Implicações da Atividade Física em Crianças com Ansiedade Matemática

Pesquisador: Marcos Guilherme Moura Silva

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 76887417.2.0000.0018

Instituição Proponente: Instituto de Educação Matemática e Científica

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.305.203

Apresentação do Projeto:

A ansiedade matemática (AM) pode interferir negativamente na cognição e no desempenho acadêmico, contribuindo para que uma parcela significativa da população escolar não experimente uma adequada proficiência matemática. Por outro lado, um campo de pesquisa emergente indica que a atividade física pode melhorar funções cognitivas e realizações acadêmicas em crianças. Partindo de tais pressupostos e da ausência de evidências correlacionando essas temáticas, objetiva-se investigar as implicações agudas do exercício físico moderado (~70% VO2 máx.) em meninos e meninas na faixa etária entre 9 e 10 anos que apresentem alta ansiedade matemática (HMA). Após o consentimento dos pais e responsáveis, testes subjetivos como a Escala Curta de ansiedade matemática para Crianças (SEMA) e o teste de ansiedade geral (Children's Manifest Anxiety Scale, segunda edição) serão aplicados para 120 alunos da Escola de Aplicação da Universidade Federal do Pará, classificando-os de acordo com seus graus de ansiedade: HMA - alta ansiedade Matemática e LMA- baixa ansiedade matemática. Após a triagem inicial, as crianças participarão de testes neuropsicológicos e de desempenho matemático, antes (T0) e imediatamente após (T1) à prática de atividade física moderada em esteira motorizada, sempre monitorados por aparelho de variabilidade da frequência cardíaca (cardiofrequencímetro modelo V800 da marca Polar). Espera-se que a atividade física mitigue os efeitos da AM ao mesmo tempo que melhore o desempenho acadêmico dos participantes.

Endereço: Rua Augusto Corrêa nº 01-SI do ICS 13 - 2º and.
Bairro: Campus Universitário do Guamã CEP: 66.075-110
UF: PA Município: BELEM
Telefone: (91)3201-7735 Fax: (91)3201-8028 E-mail: cepccs@ufpa.br

UFPA - INSTITUTO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO



Continuação do Parecer: 2.305.203

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário: Investigar as implicações agudas do exercício físico moderado (~70% VO2 max) em crianças com ansiedade matemática.

Objetivo Secundário: Analisar a relação entre Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC), Desempenho Matemático e Ansiedade Matemática;

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: Dentre os riscos previsíveis, salienta-se o constrangimento ao se tentar responder a Escala de Ansiedade Matemática e o teste de desempenho acadêmico. Em atenção à eles, os testes poderão ser realizados individualmente ou coletivamente com sigilo absoluto de seus resultados, sem prejuízo de informações aos pais e responsáveis. Em relação aos riscos envolvidos na prática da atividade física, ela se dará de modo individual, precedida de uma explicação minuciosa de seu desenvolvimento, sempre mediada pela equipe técnica da pesquisa. Com os riscos minimizados, a pesquisa oferece elevada possibilidade de gerar conhecimento de prevenção e remediação da ansiedade matemática na infância. Ressalta-se que o pesquisador responsável suspenderá a pesquisa imediatamente ao perceber algum dano à integridade física do sujeito participante da pesquisa e o Comitê de Ética em Pesquisa será informado dos efeitos adversos ou fatos significativos que alterem o curso normal da investigação. Igualmente, assume-se a responsabilidade de prover assistência integral decorrentes dos possíveis riscos.

Benefícios: O desenvolvimento do estudo poderá trazer benefícios físicos, mentais e emocionais aos participantes da pesquisa, particularmente aqueles relacionados a melhora no desempenho matemático e a redução no nível de ansiedade matemática, conduzindo para uma adequada proficiência numérica. Ademais, a difusão do conhecimento a partir de canais de comunicação científica, ampliará a discussão emergente dos efeitos da atividade física na cognição.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O protocolo apresentado dispõe de metodologia e critérios definidos conforme resolução 466/12 do CNS/MS.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os termos apresentados contemplam os sugeridos pelo sistema CEP/CONEP.

Recomendações:

Inserir o endereço deste CEP/ICS/UFPA no TCLE à ser informado aos participantes da pesquisa.

Endereço: Rua Augusto Corrêa nº 01-Sí do ICS 13 - 2º and.
Bairro: Campus Universitário do Guamã CEP: 66.075-110
UF: PA Município: BELEM
Telefone: (91)3201-7735 Fax: (91)3201-8028 E-mail: cepocs@ufpa.br

UFPA - INSTITUTO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO



Continuação do Parecer: 2.305.203

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Diante do exposto somos pela aprovação do protocolo. Este é nosso parecer, SMJ.

Devendo o pesquisador atender as recomendações constantes neste parecer.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_812251.pdf	03/08/2017 15:14:58		Aceito
Outros	Modelo_Teste_Desempenho_Matematico.pdf	31/08/2017 16:51:58	Marcos Guilherme Moura Silva	Aceito
Outros	EscalaOQPS_RCMAS.pdf	31/08/2017 16:49:09	Marcos Guilherme Moura Silva	Aceito
Outros	SEMA.docx	31/08/2017 16:47:58	Marcos Guilherme Moura Silva	Aceito
Cronograma	CRONOGRAMA_DE_EXECUCAO_DA_PESQUISA.pdf	31/08/2017 16:18:10	Marcos Guilherme Moura Silva	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TERMO_DE_CONSENTIMENTO_LIVRE_E_ESCLARECIDO.pdf	31/08/2017 15:38:15	Marcos Guilherme Moura Silva	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Declaracao_de_concordancia_de_pesquisadores.pdf	31/08/2017 15:31:35	Marcos Guilherme Moura Silva	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Declaracao_de_instituicao_e_infraestrutura.pdf	31/08/2017 15:30:58	Marcos Guilherme Moura Silva	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Brochura_do_investigador.pdf	31/08/2017 15:27:47	Marcos Guilherme Moura Silva	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto.pdf	31/08/2017 15:20:49	Marcos Guilherme Moura Silva	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Rua Augusto Corrêa nº 01-SI do ICS 13 - 2º and.
Bairro: Campus Universitário do Guamá CEP: 66.075-110
UF: PA Município: BELEM
Telefone: (91)3201-7735 Fax: (91)3201-8028 E-mail: cepocs@ufpa.br