



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
CURSO DE LICENCIATURA EM MATEMÁTICA**

ISABELA BATISTA DE SOUSA DAMASCENO

**AÇÕES MENTAIS MATEMÁTICAS NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE
LIMITES SOB A PERSPECTIVA DAS NEUROCIÊNCIAS COGNITIVAS**

GOIÂNIA

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): Isabela Batista de Sousa Damasceno

Título do trabalho: Ações Mentais Matemáticas na resolução de problemas de Limites sob a perspectiva das Neurociências Cognitivas

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concordo com a liberação total do documento [x] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Karly Barbosa Alvarenga, Professor do Magistério Superior**, em 18/12/2025, às 18:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Isabela Batista De Sousa Damasceno, Discente**, em 23/12/2025, às 15:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5827990** e o código CRC **805AA971**.

ISABELA BATISTA DE SOUSA DAMASCENO

**AÇÕES MENTAIS MATEMÁTICAS NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE
LIMITES SOB A PERSPECTIVA DAS NEUROCIÊNCIAS COGNITIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação para a
obtenção do título de Licenciada em Matemática pelo
Instituto de Matemática e Estatística da Universidade
Federal de Goiás.

Orientadora: Prof^a. Dra. Karly Barbosa Alvarenga

GOIÂNIA

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Damasceno, Isabela Batista de Sousa
AÇÕES MENTAIS MATEMÁTICAS NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS
DE LIMITES SOB A PERSPECTIVA DAS NEUROCIÊNCIAS COGNITIVAS [TCC]: .
/ Isabela Batista de Sousa Damasceno. - 2025.
102 f.: 2025

Orientadora: Prof(a). Dra. Karly Barbosa Alvarenga
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Goiás, [Unidade não informada], Matemática, Goiânia, 2025.

Anexo.
Apêndice.
Bibliografia.

Inclui: siglas, tabelas, gráfico, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Ações Mentais Matemáticas. 2. Funções Executivas. 3. Limite. 4.
Metacognição. 5. Ensino de Cálculo.

I. Alvarenga, Karly Barbosa, orient. II. Título.

CDU 51



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao(s) oito dia(s) do mês de dezembro do ano de 2025 iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “**Ações Mentais Matemáticas na resolução de problemas de Limites sob a perspectiva das Neurociências Cognitivas**”, de autoria de Isabela Batista de Sousa Damasceno, do curso de Licenciatura em Matemática, do(a) Instituto de Matemática e Estatística da UFG. Os trabalhos foram instalados pelo(a) Dra Karly Barbosa Alvarenga (orientadora) (IME/UFG) e com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Dhiego Pereira Gonçalves (IFGoiano/Ceres) e Luciana Parente Rocha (CEPAE/UFG). Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do(a) estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de 10,0 (dez) , tendo sido o TCC considerado aprovado com poucas sugestões de alterações.

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Karly Barbosa Alvarenga, Professor do Magistério Superior**, em 18/12/2025, às 18:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Dhiego Pereira Gonçalves, Usuário Externo**, em 22/12/2025, às 09:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luciana Parente Rocha, Professor do Magistério Superior**, em 23/12/2025, às 16:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5827944** e o código CRC **2C8D3E72**.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo investigar a relação entre as Ações Mentais Matemáticas (AMM) e as Funções Executivas (FE) na resolução de uma questão de Limite por estudantes da disciplina de Cálculo Diferencial do curso de Licenciatura em Matemática da Universidade Federal de Goiás. O estudo adota uma abordagem quanti-qualitativa, conforme o referencial de Creswell (2014) e está fundamentado no Modelo Teórico de Ações Mentais Matemáticas (MTAMM) de Alvarenga e Domingos (2020) e nas Neurociências Cognitivas, especificamente nas Funções Executivas (FE). O *corpus* é composto por 41 resoluções de uma avaliação proposta aos estudantes e por entrevistas semiestruturadas realizadas com três deles. A análise quantitativa envolveu estatística descritiva e o teste não paramétrico de Mann–Whitney U, comparando o número de AMM mobilizadas entre estudantes que acertaram e erraram a questão. A análise qualitativa, baseou-se em algumas ideias da Análise de Conteúdo proposta por Bardin (2016) e incorporou elementos da Análise Textual Discursiva de Moraes e Galiuzzi (2016), o que permitiu maior flexibilidade ao analisar as estratégias cognitivas empregadas pelos estudantes em suas resoluções. Os resultados evidenciaram que o êxito na tarefa está associado à maior coordenação entre representações e ao monitoramento metacognitivo, sugerindo que o desempenho nesse tipo de questão de Limite é influenciado pela integração entre o raciocínio conceitual e a regulação das funções executivas. Propõe-se, assim, a implementação de práticas pedagógicas que estimulem múltiplas representações, a reflexão sobre o erro e a autorregulação cognitiva, visando potencializar o desenvolvimento das AMM e das FE no ensino e na aprendizagem de Cálculo.

Palavras-chave: ações mentais matemáticas; funções executivas; limite; ensino de cálculo; metacognição.

ABSTRACT

This study aims to investigate the relationship between Mathematical Mental Actions (MMA) and Executive Functions (EF) in the resolution of a Limit problem by students enrolled in the Differential Calculus course of the Mathematics Teacher Education program at the Federal University of Goiás. The study adopts a mixed-methods approach, in line with the framework proposed by Creswell (2014), and is grounded in the Theoretical Model of Mathematical Mental Actions (MTAMM) developed by Alvarenga and Domingos (2020), as well as in Cognitive Neuroscience, specifically Executive Functions (EF). The corpus consists of 41 written solutions produced by students in an assessment task and semi-structured interviews conducted with three of them. Quantitative analysis involved descriptive statistics and the nonparametric Mann–Whitney U test, comparing the number of MMA mobilized by students who solved the problem correctly and those who did not. Qualitative analysis was based on key principles of Content Analysis, as proposed by Bardin (2016), and incorporated elements of Discursive Textual Analysis, following Moraes and Galiazzi (2016), allowing for greater flexibility in examining the cognitive strategies employed by students in their solutions. The results indicate that success in the task is associated with greater coordination among representations and metacognitive monitoring, suggesting that performance in this type of Limit problem is influenced by the integration of conceptual reasoning and executive function regulation. Accordingly, the study proposes the implementation of pedagogical practices that promote multiple representations, reflection on errors, and cognitive self-regulation, with the aim of enhancing the development of MMA and EF in the teaching and learning of Calculus.

Keywords: mathematical mental actions; executive functions; limit; calculus teaching; metacognition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquema simplificado das funções do córtex pré frontal.....	30
Figura 2	Subdivisões funcionais do córtex pré frontal.....	31
Figura 3	Questão de Limite da avaliação de Cálculo Diferencial.....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Modelo Teórico de Ações Mentais Matemáticas (MTAMM).....	17
Quadro 2	Articulação teórica entre o Modelo Teórico de Ações Mentais Matemáticas (MTAMM) e as Funções Executivas na regulação do pensamento matemático.....	33
Quadro 3	Quantidade de Ações Mentais Matemáticas mobilizadas e resultado na questão de Limite.....	40
Quadro 4	Síntese dos procedimentos de análise qualitativa das resoluções e entrevistas.....	46
Quadro 5	Relação entre a classificação das Funções Executivas e unidades de sentido das entrevistas.....	58
Quadro 6	Articulação entre a resolução escrita e discurso do estudante A na perspectiva do MTAMM e das Funções Executivas.....	61
Quadro 7	Articulação entre a resolução escrita e discurso do estudante B na perspectiva do MTAMM e das Funções Executivas.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Medidas descritivas do número de AMM mobilizadas por grupo de desempenho.....	50
Tabela 2	Resultados do teste de normalidade de Shapiro–Wilk para o número de Ações Mentais Matemáticas mobilizadas por grupo de desempenho.....	53
Tabela 3	Resultados do teste de Mann–Whitney U para o número de Ações Mentais Matemáticas mobilizadas e o desempenho na questão de Limite.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Análise de Conteúdo
AMM	Ações Mentais Matemáticas
ATD	Análise Textual Discursiva
CNS	Conselho Nacional de Saúde
FE	Funções Executivas
GEEM - UFG	Grupo de Estudos em Educação Matemática da Universidade Federal de Goiás
MTAMM	Modelo Teórico de Ações Mentais Matemáticas
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UFG	Universidade Federal de Goiás

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1 A APRENDIZAGEM MATEMÁTICA E A COGNIÇÃO	14
1.1 A APRENDIZAGEM MATEMÁTICA E O PENSAMENTO MATEMÁTICO.....	14
1.2 O MODELO TEÓRICO DE AÇÕES MENTAIS MATEMÁTICAS (MTAMM)	15
1.2.1 O Pensamento Matemático	18
1.2.2 A Metacognição	20
1.2.3 A Criatividade Matemática	21
2 AS FUNÇÕES EXECUTIVAS	23
2.1 AS FUNÇÕES EXECUTIVAS E SUA RELAÇÃO COM A COGNIÇÃO.....	24
2.2 CONTROLE INIBITÓRIO.....	26
2.3 MEMÓRIA DE TRABALHO.....	28
2.4 FLEXIBILIDADE COGNITIVA.....	29
2.5 REGIÕES CEREBRAIS ASSOCIADAS ÀS FUNÇÕES EXECUTIVAS.....	30
2.6 RELAÇÃO ENTRE AS AÇÕES MENTAIS MATEMÁTICAS E AS FUNÇÕES EXECUTIVAS.....	32
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	36
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	36
3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....	37
3.3 METODOLOGIA DE ANÁLISE DE DADOS.....	40
3.3.1 Metodologia de Análise Quantitativa	40
3.3.1.1 Aspectos estatísticos dos testes utilizados.....	42
3.3.2 Metodologia de Análise Qualitativa	44

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1 ANÁLISE QUANTITATIVA.....	50
4.1.1 Estatística Descritiva.....	50
4.1.2 Teste de normalidade de Shapiro-Wilk.....	52
4.1.3 Teste de Mann–Whitney U.....	52
4.2 ANÁLISE QUALITATIVA.....	54
4.2.1 Classificação do nível das Funções Executivas a partir das resoluções.....	54
4.2.2 Entrevistas.....	56
4.2.3 Articulação entre o nível das funções executivas e as narrativas dos estudantes.....	57
4.3 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS.....	60
CONSIDERAÇÕES	66
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A – Classificação dos níveis de Funções Executivas e identificação das Ações Mentais Matemáticas mobilizadas pelos estudantes	74
ANEXO A - Algumas resoluções da questão de Limite dos participantes deste estudo	97

INTRODUÇÃO

O ensino de Cálculo Diferencial e Integral ocupa um lugar central na formação de professores e profissionais das áreas das ciências exatas, sendo tradicionalmente reconhecido como uma disciplina de grande complexidade conceitual. Entre os conteúdos que mais suscitam dificuldades, destaca-se o conceito de limite, tanto pela natureza abstrata do conteúdo quanto pela predominância de abordagens de ensino voltadas à repetição procedimental e à manipulação simbólica (Tall, 1993; Carvalho e Lima, 2019). Essas dificuldades revelam não apenas lacunas de conteúdo, mas também limitações nos processos cognitivos e metacognitivos que sustentam o raciocínio matemático.

Nas últimas décadas, a Educação Matemática tem buscado compreender o papel da cognição na aprendizagem matemática, reconhecendo que raciocinar matematicamente é um ato cognitivo complexo, que envolve planejamento, abstração, memória e controle mental (Piaget, 1977; Tall, 2004). Paralelamente, as Neurociências Cognitivas têm demonstrado que o desempenho em tarefas de alta demanda cognitiva depende do funcionamento integrado das chamadas Funções Executivas, entendidas como um conjunto de processos de autorregulação responsáveis por planejar, monitorar, inibir respostas inadequadas e flexibilizar estratégias cognitivas (Miyake *et al.*, 2000; Diamond, 2013). Tais funções são particularmente requisitadas em situações que envolvem resolução de problemas matemáticos complexos, como ocorre no estudo de limites em Cálculo Diferencial.

Assim, compreender como os estudantes mobilizam ações mentais e ativam funções executivas durante a resolução de problemas de limite pode ser uma questão central para aprimorar tanto o ensino quanto a aprendizagem do Cálculo. A necessidade de investigar esses processos em conjunto justifica-se pelo fato de que a aprendizagem matemática significativa não ocorre apenas pela exposição a algoritmos ou definições formais, mas pela construção ativa de estruturas mentais que permitem ao indivíduo compreender o conceito em diferentes registros e contextos (Duval, 2003; Tall, 2013).

O Modelo Teórico de Ações Mentais Matemáticas (MTAMM), proposto por Alvarenga e Domingos (2020), oferece um quadro de Ações Mentais Matemáticas (AMM) que se articulam e podem descrever a construção do pensamento matemático. Ao mesmo tempo, as Funções Executivas (FE), conforme definidas por Miyake *et al.* (2000) e Diamond (2013), operam como mecanismos de controle que permitem ao estudante regular suas ações mentais, revisar erros e ajustar estratégias. Assim, investigar a inter-relação entre essas duas

dimensões pode oferecer uma compreensão mais profunda do processo de formação conceitual em Matemática, particularmente no domínio do Cálculo.

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa adota uma abordagem quanti-qualitativa, sob o referencial de Creswell (2014), combinando métodos estatísticos e interpretativos na análise dos dados. Essa abordagem é particularmente adequada para investigações educacionais que buscam compreender fenômenos complexos sob múltiplas perspectivas, pois a integração entre dados quantitativos e qualitativos amplia a validade e a profundidade interpretativa da pesquisa (Creswell; Plano Clark, 2018).

A escolha do tema justifica-se, inicialmente, por observações realizadas ao longo da trajetória acadêmica da autora, durante o acompanhamento de disciplinas de Cálculo nos cursos de graduação em Matemática e Engenharia. Observou-se que um número expressivo de estudantes apresentava dificuldades persistentes nessa disciplina, especialmente na compreensão do conceito de Limite, resultando em elevados índices de reprovação mesmo após sucessivas tentativas de cursar a disciplina. Essa constatação provocou questionamentos centrais, tais como: por que tantos estudantes reprovam em Cálculo? Por que o conceito de Limite, em particular, se mostra tão pouco compreendido por grande parte dos alunos?

Tais inquietações encontram respaldo na literatura, que indica que as taxas de reprovação em disciplinas de Cálculo frequentemente ultrapassam 40% e, em alguns contextos institucionais, chegam a índices ainda mais elevados, configurando-se como um fenômeno recorrente no ensino superior (Rezende, 2003; Barbosa; Lima, 2019). Essas dificuldades estão associadas à natureza abstrata dos conceitos envolvidos, à predominância de abordagens procedimentais e à fragilidade na construção do significado conceitual (Tall, 2013; Duval, 2003).

Além do impacto imediato no desempenho acadêmico, a reprovação reiterada em disciplinas de Cálculo está diretamente relacionada aos fenômenos de retenção e evasão nos cursos de graduação. O insucesso em componentes curriculares considerados estruturantes tende a prolongar o tempo de integralização do curso e a aumentar significativamente as chances de abandono, sobretudo nos primeiros semestres da graduação (Tinto, 1997; Silva; Veloso, 2013; Sampaio; Guimarães, 2020). Nesse cenário, o Cálculo assume um papel decisivo não apenas na formação conceitual do estudante, mas também na permanência e conclusão do curso.

Com base nesse contexto e na necessidade de avaliar os processos cognitivos envolvidos na resolução de problemas de Limite, este trabalho foi orientado pela seguinte questão de pesquisa: como as Ações Mentais Matemáticas e as Funções Executivas se

manifestam na resolução de um problema de Limite aplicado a uma turma de Cálculo Diferencial do curso de Licenciatura em Matemática? A partir dessa pergunta central, emergem outros problemas investigativos tais como: Quais Ações Mentais Matemáticas são mais frequentemente mobilizadas pelos participantes durante a resolução de uma questão de Limite? De que forma as Funções Executivas (Memória de Trabalho, Flexibilidade Cognitiva, Controle Inibitório) influenciam a execução e o êxito na resolução desse tipo de questão? Que relações podem ser estabelecidas entre o número das ações mentais mobilizadas e o desfecho na resolução do problema? Como os dados qualitativos e quantitativos integrados contribuem para a compreensão do raciocínio matemático sob a ótica do MTAMM e das Funções Executivas?

Dessa forma, o objetivo geral desta pesquisa é investigar como as Ações Mentais Matemáticas e as Funções Executivas se articulam na resolução de uma questão de Limite por estudantes de Cálculo Diferencial, à luz do Modelo Teórico de Ações Mentais Matemáticas (MTAMM). Para alcançar o objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar as Ações Mentais Matemáticas mobilizadas pelos estudantes na resolução de uma questão de Limite;
- b) Avaliar o papel das Funções Executivas nas resoluções escritas dos estudantes;
- c) Comparar, estatisticamente, o número de ações mentais mobilizadas entre os estudantes que obtiveram êxito e aqueles que não conseguiram resolver corretamente o problema;
- d) Realizar a triangulação entre os dados quantitativos e qualitativos, buscando convergências entre o desempenho empírico e os mecanismos cognitivos identificados;
- e) Refletir sobre os resultados a fim de sugerir práticas pedagógicas para o ensino e aprendizagem de Cálculo, com foco no desenvolvimento cognitivo e executivo dos estudantes.

Assim, esta pesquisa pretende oferecer uma contribuição no campo da Educação Matemática ao integrar teoria cognitiva, metodologia de pesquisa e implicações práticas, reforçando a importância de compreender o raciocínio matemático como um fenômeno simultaneamente mental, neurocognitivo, didático e educacional.

Este trabalho está estruturado da seguinte maneira: na Seção 1, discute-se a aprendizagem matemática em suas dimensões cognitivas, abordando o desenvolvimento do pensamento matemático e o Modelo Teórico de Ações Mentais Matemáticas (MTAMM), incluindo seus fundamentos em Pensamento Matemático, Metacognição e Criatividade

Matemática. A seção 2 apresenta uma revisão sobre as Funções Executivas, contemplando sua relação com a cognição, seus principais componentes — Controle Inibitório, Memória de Trabalho e Flexibilidade Cognitiva —, as regiões cerebrais envolvidas e sua articulação com as Ações Mentais Matemáticas. A seção 3 descreve a metodologia da pesquisa, detalhando a caracterização do estudo, os procedimentos de coleta e organização dos dados, bem como os métodos de análise quantitativa e qualitativa adotados. Na seção 4, são apresentados e discutidos os resultados obtidos, organizados em análises quantitativas, qualitativas e na integração entre ambos os enfoques. Por fim, em Considerações, são sintetizadas as principais inferências, implicações para o ensino de Cálculo e sugestões para pesquisas futuras.

1 A APRENDIZAGEM MATEMÁTICA E A COGNIÇÃO

1.1 A APRENDIZAGEM MATEMÁTICA E O PENSAMENTO MATEMÁTICO

A compreensão do processo de aprendizagem matemática demanda uma análise dos mecanismos cognitivos que possibilitam ao indivíduo construir, transformar e aplicar conceitos. Neste trabalho, a cognição é entendida como o conjunto de processos mentais responsáveis pela aquisição, organização, manipulação e utilização do conhecimento, abrangendo percepção, memória, atenção, raciocínio e resolução de problemas (Sternberg; Sternberg, 2017).

Esses processos não operam de modo isolado, mas de forma integrada, permitindo que o indivíduo elabore representações mentais e estabeleça relações lógicas entre conceitos. A partir dessa concepção ampla de cognição, diferentes correntes teóricas buscaram explicar como tais processos se organizam ao longo do desenvolvimento e se manifestam na aprendizagem; entre elas, destaca-se a perspectiva construtivista, que oferece um quadro fecundo para pensar a construção do conhecimento matemático.

Nessa perspectiva construtivista, Piaget (1977) compreende a aprendizagem como um processo de equilibração progressiva, por meio do qual o sujeito constrói estruturas cognitivas cada vez mais complexas a partir da assimilação e acomodação de novas experiências. A cognição, portanto, é concebida como dinâmica e autorregulada: novas informações são interpretadas à luz de esquemas mentais já constituídos, que se modificam à medida que o sujeito enfrenta desafios cognitivos. No campo da Matemática, esse processo traduz-se na capacidade de identificar padrões, estabelecer relações e generalizar ideias abstratas, movimentos coerentes com a teoria Piagetiana de construção de estruturas cognitivas.

O pensamento matemático, na linha cognitivista, pode ser definido como um sistema de ações mentais orientado à construção, representação e coordenação de objetos, símbolos e relações matemáticas. Pensar matematicamente implica transitar entre diferentes “mundos” do conhecimento: o mundo encarnado, ligado à experiência sensorial e intuitiva; o mundo simbólico, que envolve a manipulação de representações e símbolos; e o mundo formal, no qual o raciocínio se apoia em princípios lógicos e dedutivos (Tall, 2004). Essa progressão caracteriza o desenvolvimento do pensamento de níveis concretos para níveis formais de abstração, exigindo a mobilização integrada de diferentes ações mentais.

Compreender um conceito matemático requer, também, a coordenação entre distintos registros de representação semiótica, como o algébrico, o gráfico e o aritmético, processo que demanda flexibilidade cognitiva e controle atencional. Essa coordenação constitui uma das operações mentais mais complexas no raciocínio matemático, pois exige que o estudante interprete simultaneamente informações de naturezas distintas, estabelecendo conexões entre elas (Duval, 2003).

Nesse mesmo sentido, aprender Matemática requer mais do que dominar técnicas; requer pensar matematicamente, o que implica planejamento, monitoramento e avaliação de estratégias cognitivas. O desempenho matemático está diretamente relacionado à capacidade do indivíduo de controlar e revisar suas ações mentais (Schoenfeld, 1992), um aspecto que será posteriormente articulado às funções executivas no presente trabalho.

1.2 O MODELO TEÓRICO DE AÇÕES MENTAIS MATEMÁTICAS (MTAMM)

O Modelo Teórico de Ações Mentais Matemáticas (MTAMM), proposto por Alvarenga e Domingos (2020), constitui uma estrutura voltada à compreensão das ações mentais que sustentam o pensamento matemático. Fundamentado em uma perspectiva cognitivista, o modelo parte do princípio de que aprender Matemática implica mobilizar, coordenar e integrar ações mentais que possibilitem ao estudante construir significados, elaborar representações e desenvolver níveis progressivos de abstração conceitual.

As Ações Mentais Matemáticas (AMM) correspondem aos mecanismos cognitivos que o indivíduo executa ao lidar com conceitos matemáticos, tais como identificar, representar, algebrizar, verificar e generalizar. Essas ações não ocorrem isoladamente, mas de forma articulada, compondo um sistema coerente de construção de conhecimento (Alvarenga; Domingos, 2020).

A formulação do MTAMM dialoga com as contribuições de Tall (2004, 2013), especialmente com a ideia de que o pensamento matemático se desenvolve em diferentes “mundos” ou domínios de experiência: o mundo encarnado, associado a percepções e intuições; o mundo simbólico, ligado à manipulação de representações e expressões algébricas; e o mundo formal, no qual prevalecem definições, teoremas e demonstrações. Nessa perspectiva, o avanço conceitual exige que o estudante transite entre esses mundos, reorganizando suas imagens conceituais e seu repertório de representações.

Outra base importante para o MTAMM é a teoria APOS, desenvolvida por Dubinsky (1991, 2000), que descreve o desenvolvimento do pensamento matemático por meio de quatro

componentes: ações, processos, objetos e esquemas. Nessa teoria, ações inicialmente realizadas sobre objetos matemáticos podem ser interiorizadas em processos mentais, posteriormente encapsulados em objetos, que passam a integrar esquemas mais amplos de conhecimento. Essa dinâmica fornece um arcabouço para compreender como o estudante transforma manipulações algorítmicas em estruturas conceituais mais estáveis, o sugere a ideia de que a sofisticação das ações mentais envolve a passagem de operações pontuais para formas mais organizadas e integradas de pensamento matemático.

Dreyfus (1991, 2002) contribui para essa discussão ao enfatizar o chamado pensamento matemático avançado, caracterizado pela capacidade de operar com níveis elevados de abstração, estabelecer conexões entre diferentes representações e produzir justificativas fundamentadas, como argumentos e demonstrações. Para ele, mecanismos como generalização, formalização e construção de provas exigem não apenas domínio de conteúdos, mas também controle consciente sobre as estratégias de raciocínio utilizadas. Essa perspectiva aproxima-se do MTAMM na medida em que as ações mentais são entendidas como artifícios que precisam ser progressivamente refinados, coordenados e monitorados para sustentar a atividade matemática em níveis mais complexos (Alvarenga; Domingos, 2020).

Além disso, estudos sobre criatividade matemática, como os de Leikin *et al.* (2009, 2013), destacam a importância da Flexibilidade Cognitiva e da produção de múltiplas soluções ou abordagens para um mesmo problema. Nessa linha, a criatividade em Matemática é associada à capacidade de mobilizar diferentes representações, explorar caminhos alternativos e estabelecer conexões incomuns entre ideias. Essa visão se articula com o MTAMM, na medida em que a diversidade e a combinação de ações mentais matemáticas coordenadas constituem indicadores de um pensamento matemático mais consistente e flexível (Alvarenga; Domingos, 2020).

A metacognição também constitui um dos pilares teóricos do MTAMM, pois diz respeito tanto ao conhecimento que o sujeito possui sobre os próprios processos cognitivos quanto à capacidade de monitorá-los e regulá-los de forma intencional (Flavell, 1979). Ao tomar consciência de como planeja, executa e avalia estratégias de resolução, o estudante passa a acompanhar o modo como mobiliza e articula ações mentais em diferentes situações. Essa dimensão metacognitiva torna-se particularmente relevante quando se considera, por exemplo, a necessidade de transitar entre os “mundos” encarnado, simbólico e formal de Tall; de interiorizar ações em processos, objetos e esquemas na teoria APOS de Dubinsky; de coordenar processos de abstração, generalização e formalização no pensamento matemático avançado de Dreyfus, e de explorar abordagens criativas e flexíveis na perspectiva de Leikin

et al. Nesse sentido, o MTAMM não apenas organiza um conjunto de ações mentais matemáticas – vide quadro 1 – mas também oferece um referencial para que essas ações sejam objeto de reflexão, seleção e ajuste por parte do estudante, aproximando a discussão sobre pensamento matemático a uma perspectiva metacognitiva.

Quadro 1: Modelo Teórico de Ações Mentais Matemáticas (MTAMM)

Algebrizar (AM 1)	Analisar a direção inversa da manipulação (AM 2)	Argumentar de forma textual, sem a formalização ou a linguagem matemática (AM 3)
Classificar (AM4)	Coletar informações / dados (AM 5)	Comparar por meio de problemas semelhantes (AM 6)
Compensar (AM 7)	Conectar experiências anteriores (<i>met-before</i>) (AM 8)	Conjecturar (AM 9)
Convencer o outro, explicar verbalmente (AM 10)	Criar a própria linguagem matemática (AM 11)	Dar contraexemplos (AM 12)
Demonstrar, provar (AM 13)	Distinguir o que são hipóteses e o que é tese (AM 14)	Elaborar casos particulares (AM 15)
Empregar propriedades dos números reais (AM 16)	Encapsular processos em objetos, descapsular objetos em processos (AM 17)	Enumerar etapas (AM 18)
Estimar, fazer aproximações (AM 19)	Evidenciar (AM 20)	Fazer “mostrações” (AM 21)
Fazer analogias entre outros conteúdos (AM 22)	Fazer operações com números reais (AM 23)	Flexibilizar contextos (AM 24)
Flexibilizar interpretações (AM 25)	Formalizar (AM 26)	Generalizar (AM 27)
Geometrizar (AM 28)	“Graficar” (AM 29)	Identificar (AM 30)
Induzir (AM 31)	Inferir (AM 32)	Interpretar (AM 33)
Investigar (AM 34)	Manipular Algebricamente (AM 35)	Manipular expressões da direita para a esquerda, quando possível. Reverter (AM 36)
Manipular expressões de baixo para cima (AM 37)	Modelar (AM 38)	“Numerizar” (AM 39)
Organizar, desorganizar e reorganizar (AM 40)	Repensar, refazer e repensar, isto é, tentar, tentar e tentar... (AM 41)	Representar (AM 42)

Simplificar (AM 43)	Sintetizar (AM 44)	Tabelar (AM 45)
Traduzir da língua materna para a linguagem matemática simbólica (AM 46)	Traduzir da linguagem matemática para a língua materna (AM 47)	Transpor ideias (mudar de um contexto para o outro) (AM 48)
Transpor informações (estar coerente; conectar informações) (AM 49)	Usar linguagem matemática adequada (AM 50)	Verificar (AM 51)
Visualizar (AM 52)		

Fonte: Proposta de Alvarenga e Domingos (2020); reflexão e desenvolvimento do Grupo de Estudos em Educação Matemática (GEEM-UFG).

Desse modo, o MTAMM integra contribuições de Tall, Dubinsky, Dreyfus e Leikin *et al.* ao conceber o pensamento matemático como resultado da coordenação entre ações mentais, processos de construção conceitual e níveis de complexidade cognitiva. Dos “mundos” de Tall, o modelo incorpora a ideia de transição entre diferentes domínios de experiência; da teoria APOS, retoma a passagem de ações a processos, objetos e esquemas; de Dreyfus, a ênfase na natureza avançada e reflexiva do pensamento matemático; e, dos estudos de Leikin *et al.*, a centralidade da flexibilidade e da criatividade na resolução de problemas. Ao articular essas perspectivas, o MTAMM entende o pensamento matemático também como uma atividade intencional e, em grande medida, metacognitiva, em que o estudante não apenas manipula símbolos, mas também reflete sobre as próprias ações mentais, avaliando sua adequação e eficiência.

1.2.1 O Pensamento Matemático

No âmbito do MTAMM, o pensamento matemático é concebido como um sistema organizado de ações mentais por meio do qual o estudante constrói, coordena e transforma conceitos. Pensar matematicamente não se reduz à aplicação de regras ou algoritmos, mas envolve mobilizar operações como representar, interpretar, generalizar, formalizar e verificar, articulando diferentes registros e níveis de abstração em resposta a uma situação-problema (Alvarenga; Domingos, 2020; Peixoto; Alvarenga, 2024).

Uma das descrições clássicas do pensamento matemático avançado é apresentada por Dreyfus (1991), que o entende como o resultado da interação simultânea de diversos processos mentais, tais como abstração, generalização, formalização, transformação,

representação, visualização, controle e dedução. Em síntese, não é a presença isolada de um único processo que caracteriza o pensamento matemático avançado, mas a forma como esses componentes se combinam para produzir ações complexas e coordenadas sobre objetos matemáticos. Peixoto e Alvarenga (2024), ao retomarem essa concepção, destacam que reconhecer e explicitar esses processos ajuda professores e estudantes a compreender o que ocorre durante a aprendizagem e a planejar intervenções que favoreçam o desenvolvimento de tais habilidades.

A teoria APOS, formulada por Dubinsky e colaboradores, contribui para esse quadro ao descrever o desenvolvimento conceitual em termos de quatro estruturas: ações, processos, objetos e esquemas (Dubinsky, 1991; Dubinsky; McDonald, 2001). Inicialmente, o estudante executa ações sobre certos objetos matemáticos, muitas vezes de forma algorítmica e apoiada em exemplos concretos. Com o tempo, essas ações podem ser interiorizadas, dando origem a processos que o sujeito é capaz de executar mentalmente, sem o suporte explícito de passos intermediários. Quando o estudante passa a tratar o processo como um todo, atribuindo-lhe unidade e estabilidade, ele se transforma em objeto, que, por sua vez, se articula com outros objetos em esquemas mais amplos de conhecimento.

Dreyfus (1991, 2002) aprofunda essa discussão ao enfatizar que o pensamento matemático avançado envolve lidar com altos níveis de abstração, construir argumentos fundamentados e produzir demonstrações. Processos como generalizar, formalizar, argumentar e justificar são centrais nessa perspectiva, pois permitem ao estudante ir além da resolução mecânica de exercícios e passar a operar com estruturas conceituais, reconhecer padrões e estabelecer conexões entre diferentes representações. Em pesquisas recentes sobre as AMM no Cálculo Diferencial, Peixoto e Alvarenga (2024) mostram que a qualidade das resoluções está diretamente relacionada ao modo como os estudantes mobilizam e articulam ações como “conectar experiências anteriores”, “manipular algebricamente”, “interpretar”, “transportar informações”, “visualizar” e, em particular, “verificar”, chamando atenção para o fato de que a ausência desta última pode comprometer a correção final da resposta, mesmo quando outras ações foram ativadas.

Esses resultados empíricos reforçam a ideia de que o pensamento matemático envolve não apenas o acionamento de um conjunto de ações mentais, mas a interação consciente entre elas. No contexto do estudo de Limites em Cálculo Diferencial, por exemplo, compreender um enunciado, escolher uma abordagem algébrica ou gráfica, relacionar a situação atual a experiências anteriores, representar o comportamento da função e conferir a

coerência dos resultados, são movimentos que exigem a coordenação de múltiplas ações mentais em diferentes níveis de formalização (Peixoto; Alvarenga, 2024).

Além disso, como apontam Alvarenga e Domingos (2020), muitas dessas ações mentais tendem a ocorrer de forma subliminar e automática, o que torna difícil para o estudante identificar quais caminhos cognitivos está percorrendo ao estudar Matemática. Uma das contribuições do MTAMM é justamente tornar essas ações mais visíveis e passíveis de reflexão, favorecendo que sejam mobilizadas de modo intencional e articulado com processos metacognitivos. Ao estimular que professores e estudantes reconheçam as ações mentais utilizadas na resolução de problemas, cria-se espaço para que o pensamento matemático seja compreendido não apenas como um produto (acerto ou erro), mas como um processo em constante construção, que pode ser monitorado e aprimorado.

Nessa perspectiva, o pensamento matemático, tal como concebido neste trabalho, é simultaneamente conceitual e autorregulatório: envolve operar com objetos matemáticos em diferentes níveis de abstração e, ao mesmo tempo, acompanhar, avaliar e ajustar o próprio raciocínio. Essa dimensão regulatória estabelece um vínculo direto com a metacognição e com os mecanismos de controle presentes nas Funções Executivas — tema que será aprofundado na seção seguinte — bem como na articulação entre AMM e Funções Executivas no estudo do conceito de Limite.

1.2.2 A Metacognição

A metacognição, em termos gerais, diz respeito ao conhecimento que o indivíduo possui sobre os próprios processos cognitivos e à capacidade de monitorá-los e regulá-los de forma intencional. Flavell (1979) a descreve como um conjunto de conhecimentos, crenças e experiências que o indivíduo tem sobre como pensa e aprende, articulado a processos de acompanhamento e controle que ocorrem durante a realização de uma tarefa. Em Matemática, isso significa, por exemplo, escolher conscientemente quais estratégias utilizar para resolver problemas, perceber quando está compreendendo ou não um enunciado e decidir se deve insistir em uma abordagem ou buscar outra alternativa.

Brown (1987) e Schraw e Moshman (1995) aprofundam essa concepção ao distinguir o conhecimento metacognitivo da regulação metacognitiva. O primeiro envolve saber sobre si mesmo como aprendiz, sobre as características das tarefas e sobre as estratégias disponíveis; o segundo diz respeito a planejar, monitorar e avaliar o próprio desempenho. No contexto da

aprendizagem matemática, planejar pode significar escolher por onde começar a resolução de um problema; monitorar implica avaliar, ao longo do processo, se os passos adotados fazem sentido; e verificar envolve julgar a plausibilidade da resposta obtida e a adequação do caminho seguido.

No âmbito do MTAMM, essa dimensão metacognitiva assume um papel estruturante, pois permite que o estudante tome consciência das ações mentais que mobiliza ao trabalhar com conceitos matemáticos. Como discutido na seção anterior, o modelo explicita um conjunto de Ações Mentais Matemáticas – tais como identificar, representar, interpretar, algebrizar, generalizar e verificar – que normalmente permanecem implícitas na prática de sala de aula (Alvarenga; Domingos, 2020). Quando essas ações são nomeadas e discutidas, o estudante passa a dispor de um vocabulário para refletir sobre o próprio raciocínio: ele pode reconhecer quais ações utilizou em determinada tarefa, em que ordem as acionou e quais deixou de mobilizar, o que abre espaço para ajustes conscientes em sua forma de pensar.

Dessa forma, neste trabalho, a metacognição é entendida como um componente transversal ao pensamento matemático e às Ações Mentais Matemáticas descritas no MTAMM. Ela se manifesta quando o estudante planeja quais ações mobilizar, monitora a forma como as coordena ao longo da resolução de um problema e avalia a qualidade das estratégias e dos resultados obtidos. Essa compreensão aproxima a discussão da temática das Funções Executivas, uma vez que processos como planejamento, monitoramento e controle são centrais tanto na regulação metacognitiva quanto nos mecanismos executivos de controle cognitivo.

1.2.3 A Criatividade Matemática

A criatividade matemática, no contexto deste trabalho, é entendida como a capacidade de produzir ideias, soluções ou estratégias que sejam, ao mesmo tempo, matematicamente corretas e, em algum grau, originais ou pouco usuais. Em vez de se restringir à obtenção de uma única resposta por meio de um procedimento padrão, a criatividade manifesta-se quando o estudante explora diferentes caminhos de resolução, combina representações de forma não trivial ou identifica propriedades que não estavam explicitamente destacadas na situação-problema (Leikin *et al.*, 2009, 2013). Nesse sentido, a criatividade não se opõe ao rigor matemático, mas se expressa justamente na flexibilidade com que o indivíduo mobiliza seu conhecimento conceitual e procedimental.

Leikin *et al.* (2009) propõem que a criatividade em Matemática pode ser analisada em termos de fluência, flexibilidade e originalidade. A fluência refere-se à produção de múltiplas soluções ou abordagens para um mesmo problema; a flexibilidade diz respeito à capacidade de mudar de estratégia, registro ou ponto de vista; e a originalidade está relacionada à frequência com que uma determinada solução aparece em um grupo, sendo consideradas mais criativas aquelas respostas menos recorrentes, mas ainda matematicamente válidas. Em tarefas de Cálculo, por exemplo, a criatividade pode aparecer quando o estudante escolhe uma representação gráfica em vez de puramente algébrica, reformula o enunciado em termos de variação ou de aproximações sucessivas ou, ainda, utiliza propriedades de Limites de forma pouco convencional, porém correta.

À luz do MTAMM, a criatividade matemática pode ser descrita a partir das combinações e reconfigurações de Ações Mentais Matemáticas que o estudante mobiliza ao enfrentar uma tarefa. Ações como representar de modos distintos, interpretar o enunciado em diferentes registros, elaborar casos particulares e generalizar, relacionam-se diretamente com a flexibilidade destacada por Leikin *et al.* (2009, 2013). Quando o estudante limita-se a seguir um procedimento conhecido, tende a acionar um conjunto reduzido de ações mentais; quando explora alternativas, compara abordagens ou testa hipóteses, amplia o repertório de ações mobilizadas e as articula de forma mais consistente, o que pode favorecer a compreensão conceitual.

A metacognição desempenha, nesse cenário, um papel mediador importante. Para que a criatividade matemática se manifeste de maneira produtiva, não basta gerar muitas ideias; é necessário acompanhar o que está sendo feito, avaliar a pertinência das estratégias e decidir quais caminhos merecem ser aprofundados. Processos metacognitivos, como monitorar o próprio raciocínio, reconhecer quando uma abordagem não está funcionando e optar por mudar de estratégia, ajudam o estudante a equilibrar suas ações, evitando tanto a repetição mecânica de procedimentos quanto a dispersão em tentativas desconexas. Assim, a criatividade, envolve uma interação constante entre a geração de possibilidades e a regulação das ações mentais matemáticas, em diálogo estreito com o MTAMM.

2 AS FUNÇÕES EXECUTIVAS

A partir das discussões desenvolvidas na seção 1, em que a aprendizagem matemática foi analisada à luz do MTAMM, do pensamento matemático, da metacognição e da criatividade, esta seção volta-se para um componente específico das Neurociências Cognitivas: as Funções Executivas. Em termos gerais, elas dizem respeito a um conjunto de processos de autorregulação que permitem ao indivíduo planejar, monitorar e ajustar o próprio pensamento em situações novas ou complexas, como é o caso da resolução de problemas em Cálculo Diferencial. O foco nas Funções Executivas tem como objetivo compreender como mecanismos de controle cognitivo sustentam e organizam as ações mentais envolvidas na construção de conceitos matemáticos, em especial o de Limite, em consonância com os objetivos deste estudo.

Do ponto de vista neurocognitivo, estudos em neuroimagem têm mostrado que as Funções Executivas dependem de uma rede frontal-parietal que integra diferentes regiões cerebrais. Pesquisas de Dehaene (2012, 2022) e Ansari (2008), entre outros, indicam que o córtex pré-frontal – especialmente o córtex pré-frontal dorsolateral – está envolvido no planejamento, na tomada de decisão e na manutenção de objetivos em tarefas matemáticas, enquanto áreas parietais, como o sulco intraparietal e regiões adjacentes, participam do processamento numérico, da comparação de quantidades e da manipulação de representações simbólicas. Essa rede se articula ainda com estruturas como o giro angular, associado à integração entre linguagem e simbolização matemática, e o córtex cingulado anterior, relacionado ao monitoramento de erros e à regulação do esforço atencional.

Na Educação Matemática, investigações recentes têm buscado aproximar esses achados das análises de tarefas escolares. Gonçalves (2025), ao articular o MTAMM com aportes das neurociências cognitivas, argumenta que a resolução de problemas algébricos envolve a ativação coordenada de regiões pré-frontais (planejamento e controle executivo), parietais (manipulação simbólica e cálculo), temporais e hipocampais (memória de longo prazo) e cinguladas (atenção executiva e controle de erro). Nesse quadro, as Funções Executivas assumem papel central na organização das ações mentais matemáticas: é por meio delas que o estudante seleciona informações relevantes, mantém o foco ao longo de várias etapas de resolução, monitora a coerência de suas estratégias e decide quando é necessário recomeçar, reformular ou validar uma solução.

Essa perspectiva é especialmente relevante para o presente trabalho, cujo objetivo geral é investigar como as Ações Mentais Matemáticas e as Funções Executivas se articulam

na resolução de uma questão de Limite. Considera-se que o êxito nessa tarefa não depende apenas do domínio de técnicas algébricas ou de definições formais, mas também da capacidade de manter em mente diferentes informações (como condições para a existência do Limite e propriedades de funções), inibir procedimentos inadequados (por exemplo, aplicar mecanicamente regras em contextos em que não são válidas) e flexibilizar o raciocínio ao transitar entre representações algébricas, gráficas e aritméticas. Ao analisar as resoluções dos estudantes sob essa ótica, pretende-se compreender de que modo as Funções Executivas contribuem para a coordenação das ações mentais matemáticas descritas pelo MTAMM.

Assim, nesta seção, inicialmente será discutida a natureza das Funções Executivas e sua relação com a cognição em sentido amplo, para, em seguida, detalhar cada um de seus componentes – Controle Inibitório, Memória de Trabalho e Flexibilidade Cognitiva – e examinar as principais regiões cerebrais a eles associadas. Por fim, será explorada a articulação entre as Funções Executivas e as Ações Mentais Matemáticas, estruturando o arcabouço teórico para a análise de como esses mecanismos se manifestam na resolução de uma questão de Limite por estudantes de Cálculo Diferencial.

2.1 AS FUNÇÕES EXECUTIVAS E SUA RELAÇÃO COM A COGNIÇÃO

As Funções Executivas constituem um dos campos de estudo mais relevantes das Neurociências Cognitivas, por elucidarem como o cérebro humano regula o comportamento, o pensamento e a aprendizagem. De modo geral, podem ser entendidas como um conjunto de processos mentais de alto nível responsáveis por planejar, monitorar, controlar e direcionar ações cognitivas em situações que exigem esforço deliberado e adaptação a novas demandas (Diamond, 2013). São, portanto, funções que permitem ao indivíduo gerenciar pensamentos e emoções, adaptar-se a contextos imprevistos e resolver problemas complexos de maneira consciente e autorregulada (Sternberg; Sternberg, 2017).

No modelo clássico proposto por Miyake et al. (2000), as funções executivas englobam três componentes principais, que operam de forma integrada: a Memória de Trabalho, o Controle Inibitório e a Flexibilidade Cognitiva. A Memória de Trabalho refere-se à capacidade de manter e manipular, por um curto período, informações relevantes para a tarefa em curso (Baddeley, 2000; Miyake et al., 2000). O Controle Inibitório diz respeito à habilidade de suprimir respostas impulsivas ou estratégias inadequadas, favorecendo escolhas mais ajustadas aos objetivos da atividade. Já a Flexibilidade Cognitiva envolve a aptidão de

alternar entre diferentes estratégias, perspectivas ou representações mentais quando a situação exige (Diamond, 2013).

Esses componentes não atuam isoladamente: é a sua coordenação que viabiliza a organização de tarefas mentais complexas, como aquelas envolvidas na resolução de problemas matemáticos. Diamond (2013) amplia essa compreensão ao indicar que esses componentes básicos sustentam Funções Executivas de ordem superior, como o raciocínio, a resolução de problemas complexos e o planejamento, o controle e o monitoramento. Nessa perspectiva, as Funções Executivas não apenas coordenam processos cognitivos, mas também modulam aspectos motivacionais e emocionais, influenciando o engajamento do estudante diante de desafios acadêmicos.

No campo da Educação Matemática, as Funções Executivas têm sido associadas à qualidade da resolução de problemas, especialmente em tarefas que envolvem múltiplas etapas e diferentes registros de representação. Blair e Razza (2007) apontam que o desempenho em Matemática está fortemente relacionado ao desenvolvimento da Memória de Trabalho e do Controle Inibitório, que permitem manipular simultaneamente informações simbólicas, numéricas e gráficas, evitar distrações, respostas automáticas, assim como persistir diante das dificuldades. Tais processos são relevantes quando o estudante precisa coordenar diferentes estratégias, comparar resultados e decidir qual caminho seguir.

As Funções Executivas também se articulam estreitamente com a autorregulação da aprendizagem. Planejar como iniciar uma tarefa, monitorar se o procedimento adotado está produzindo resultados coerentes e avaliar a adequação da solução obtida são exemplos de processos autorregulatórios que dependem de mecanismos executivos (Fonseca; Boruchovitch, 2021). Essa autorregulação constitui um elo conceitual entre Funções Executivas e metacognição, ambas fundamentais para o pensamento matemático reflexivo discutido na seção 1. Nessa perspectiva, o raciocínio matemático pode ser entendido como um processo de coordenação executiva, em que as Funções Executivas contribuem para controlar o fluxo de informações e orientar a mobilização das ações mentais.

Pesquisas em neuroimagem ajudam a esclarecer essa relação ao mostrar que a resolução de problemas matemáticos complexos ativa uma rede de regiões localizadas principalmente no córtex pré-frontal dorsolateral e no córtex cingulado anterior, associadas, respectivamente, à Memória de Trabalho e ao monitoramento de erros (Ansari, 2019; Dehaene, 2011). Essas áreas se articulam com regiões parietais envolvidas no processamento de quantidades e na manipulação simbólica, o que permite ao estudante reorganizar estratégias quando o raciocínio inicial falha, evidenciando a importância da Flexibilidade

Cognitiva. Em termos funcionais, essa rede apoia processos como manter objetivos em mente, atualizar informações, identificar conflitos e ajustar o curso da ação.

No âmbito do Modelo Teórico das Ações Mentais Matemáticas (MTAMM), as Funções Executivas podem ser compreendidas como o conjunto de mecanismos que organiza e regula a mobilização das ações mentais. A Memória de Trabalho permite planejar a sequência de ações cognitivas e manter presentes condições do problema e propriedades de funções; o Controle Inibitório favorece a suspensão de estratégias inadequadas ou automatizadas que não se aplicam à situação; a Flexibilidade Cognitiva possibilita adaptar-se a novas representações, mudar de registro e reconsiderar hipóteses; e o monitoramento contínuo viabiliza verificar a coerência do raciocínio e dos resultados obtidos. Esses mecanismos garantem maior consistência e eficiência ao pensamento matemático, sobretudo em situações que demandam abstração reflexiva (Piaget, 1977), como a análise de Limites.

Além disso, o desenvolvimento das Funções Executivas tem implicações diretas para o ensino. Tarefas que desafiam o raciocínio lógico, promovem a argumentação e estimulam a revisão de estratégias tendem a contribuir para o fortalecimento das Funções Executivas em contextos educacionais (Diamond; Lee, 2011; Fonseca; Boruchovitch, 2021). Ao compreender o papel das Funções Executivas na aprendizagem matemática, o professor pode estruturar atividades que integrem pensamento lógico, criatividade e metacognição, potencializando tanto o desempenho quanto o desenvolvimento cognitivo dos estudantes.

Portanto, as Funções Executivas são concebidas como um elo neurocognitivo entre cognição, metacognição e pensamento matemático. Elas ajudam a explicar como o estudante organiza suas ações mentais, monitora o progresso do raciocínio e ajusta as estratégias utilizadas. No contexto específico desta pesquisa, compreender a atuação das Funções Executivas é fundamental para interpretar as diferenças no número e na qualidade das Ações Mentais Matemáticas mobilizadas pelos estudantes, evidenciando de que maneira o controle executivo influencia o êxito na resolução de uma questão de Limite em Cálculo Diferencial.

2.2 CONTROLE INIBITÓRIO

O Controle Inibitório é um dos componentes centrais das funções executivas e diz respeito à capacidade de suprimir respostas impulsivas, rotinas automatizadas ou interferências irrelevantes em favor de ações mais ajustadas aos objetivos da tarefa (Miyake et al., 2000; Diamond, 2013). Em termos cognitivos, envolve tanto a inibição de

comportamentos imediatos quanto a suspensão de estratégias mentais que, embora familiares, não são adequadas ao problema em questão.

No contexto da aprendizagem e da resolução de problemas matemáticos, o Controle Inibitório manifesta-se quando o estudante precisa resistir à tendência de aplicar mecanicamente um algoritmo conhecido, de seguir um padrão de exercícios anteriores ou de aceitar a primeira resposta que lhe ocorre sem verificá-la. Em atividades de Cálculo, o estudante é frequentemente desafiado a conter a aplicação indiscriminada de regras procedimentais e a considerar as condições específicas do limite em análise.

Gonçalves (2025) destaca que a resolução de problemas algébricos, por exemplo, exige que o estudante iniba tanto distrações externas quanto procedimentos automatizados que não respeitam as restrições impostas pelo enunciado. Ao analisar resoluções de inequações e outros problemas de Álgebra, o autor argumenta que o Controle Inibitório se torna particularmente evidente quando o sujeito precisa abandonar uma estratégia que costuma utilizar, reconhecer que ela não é adequada ao caso e substituir esse caminho por outro mais coerente com as condições da tarefa. Nessa leitura, o Controle Inibitório não é apenas a ausência de ação, mas uma intervenção ativa sobre o próprio modo de pensar, que abre espaço para a reorganização do raciocínio.

No âmbito do Modelo Teórico das Ações Mentais Matemáticas (MTAMM), o Controle Inibitório pode ser compreendido como um mecanismo regulador que atua sobre a mobilização das ações mentais. Ele contribui para que o estudante não permaneça restrito a ações como manipular algebricamente ou aplicar regras de forma mecânica, favorecendo a ativação de ações como interpretar, representar, conectar experiências anteriores e verificar resultados. Ao inibir caminhos automáticos pouco produtivos, o mecanismo inibitório cria condições para que outras ações mentais, mais adequadas à compreensão conceitual, sejam mobilizadas e coordenadas.

No contexto específico deste estudo, que analisa a resolução de uma questão de Limite em Cálculo Diferencial, o Controle Inibitório é muito relevante quando o estudante precisa conter a tendência de substituir diretamente valores na expressão sem considerar as condições para a existência do Limite, ou quando deve evitar o uso indiscriminado de regras algébricas em situações em que elas não se aplicam. Nesses casos, a capacidade de suspender a primeira estratégia que vem à mente, reconhecer inconsistências e buscar uma abordagem alternativa está diretamente relacionada à qualidade das Ações Mentais Matemáticas mobilizadas. Assim, compreender como o Controle Inibitório se manifesta nas resoluções dos

estudantes constitui um passo importante para interpretar o papel das Funções Executivas no êxito ou insucesso na resolução de problemas de Limite.

2.3 MEMÓRIA DE TRABALHO

A Memória de Trabalho é entendida como o sistema responsável por manter e manipular temporariamente informações necessárias à realização de uma tarefa, permitindo que o sujeito coordene diferentes etapas do raciocínio (Baddeley, 2000; Miyake et al., 2000). Diferentemente da memória de longo prazo, que armazena conhecimentos de forma mais estável, a memória de trabalho opera em uma escala de tempo restrita, sustentando dados, hipóteses e resultados intermediários enquanto a atividade está em curso (Diamond, 2013).

No contexto da aprendizagem matemática, a Memória de Trabalho é exigida em tarefas que envolvem vários passos e múltiplas representações. Ao resolver um problema de Cálculo, o estudante precisa manter em mente as condições do enunciado, propriedades de funções, transformações algébricas já realizadas e objetivos parciais da resolução. Essa coordenação é ainda mais desafiadora quando a situação demanda articular registros algébricos, gráficos, aritméticos e linguísticos, exigindo que o estudante atualize e reorganize constantemente as informações relevantes, sem perder de vista o propósito da tarefa (Blair; Razza, 2007).

A Memória de Trabalho depende, em grande medida, da atividade do córtex pré-frontal dorsolateral em interação com áreas parietais, responsáveis pela manutenção e manipulação de quantidades e representações simbólicas (Dehaene, 2011; Ansari, 2019). Em termos funcionais, essa rede apoia processos como manter objetivos em mente, comparar resultados parciais, descartar informações irrelevantes e ajustar o raciocínio à medida que novos dados são incorporados, o que mostra a estreita relação entre Memória de Trabalho e demais funções executivas.

Com relação ao MTAMM, a Memória de Trabalho pode ser vista como o suporte executivo que permite ao estudante encadear e coordenar diferentes ações mentais ao longo da resolução de um problema. É ela que possibilita manter presentes as interpretações feitas, as representações escolhidas, as manipulações algébricas realizadas e as verificações já efetuadas, favorecendo que essas ações se articulem de forma coerente. No caso específico da questão de Limite analisada nesta pesquisa, a Memória de Trabalho é crucial para que o estudante consiga relacionar a expressão algébrica do Limite, o comportamento gráfico da

função e as condições para a existência do Limite, sem perder o controle sobre as etapas anteriores da resolução. Assim, compreender o papel da Memória de Trabalho contribui para interpretar como as Ações Mentais Matemáticas são organizadas em tarefas de maior complexidade cognitiva.

2.4 FLEXIBILIDADE COGNITIVA

A Flexibilidade Cognitiva é entendida como a capacidade de alterar perspectivas, estratégias ou representações mentais diante de mudanças nas demandas da tarefa ou quando a abordagem inicialmente adotada se mostra insuficiente (Miyake et al., 2000; Diamond, 2013). Do ponto de vista executivo, trata-se da habilidade de “mudar de plano”: abandonar um caminho já iniciado, considerar alternativas e reorganizar o próprio raciocínio sem permanecer rigidamente preso a um único modo de pensar.

Na aprendizagem matemática, essa flexibilidade é fundamental em situações que exigem articular diferentes registros de representação, reinterpretar enunciados ou escolher entre caminhos de resolução distintos. Em tarefas de Cálculo, o estudante muitas vezes precisa transitar entre a expressão algébrica de uma função, sua representação gráfica e descrições verbais de comportamento, revisando hipóteses e ajustando procedimentos à medida que novas informações são consideradas. A dificuldade em flexibilizar o raciocínio tende a levar à insistência em algoritmos conhecidos, mesmo quando não são apropriados para o problema em questão.

A literatura sobre criatividade matemática aproxima-se diretamente dessa perspectiva. Leikin *et al.* (2009, 2013) destacam que a produção de soluções criativas está associada à fluência e, sobretudo, à flexibilidade na geração de abordagens para um mesmo problema. Do ponto de vista das Funções Executivas, a criatividade não é apenas a geração de muitas ideias, mas a capacidade de mudar de estratégia, explorar diferentes representações e combinar conhecimentos de forma não trivial. Nesse sentido, a Flexibilidade Cognitiva constitui um suporte executivo para a criatividade em Matemática, na medida em que permite ao estudante romper com rotinas rígidas e considerar alternativas conceitualmente mais ricas.

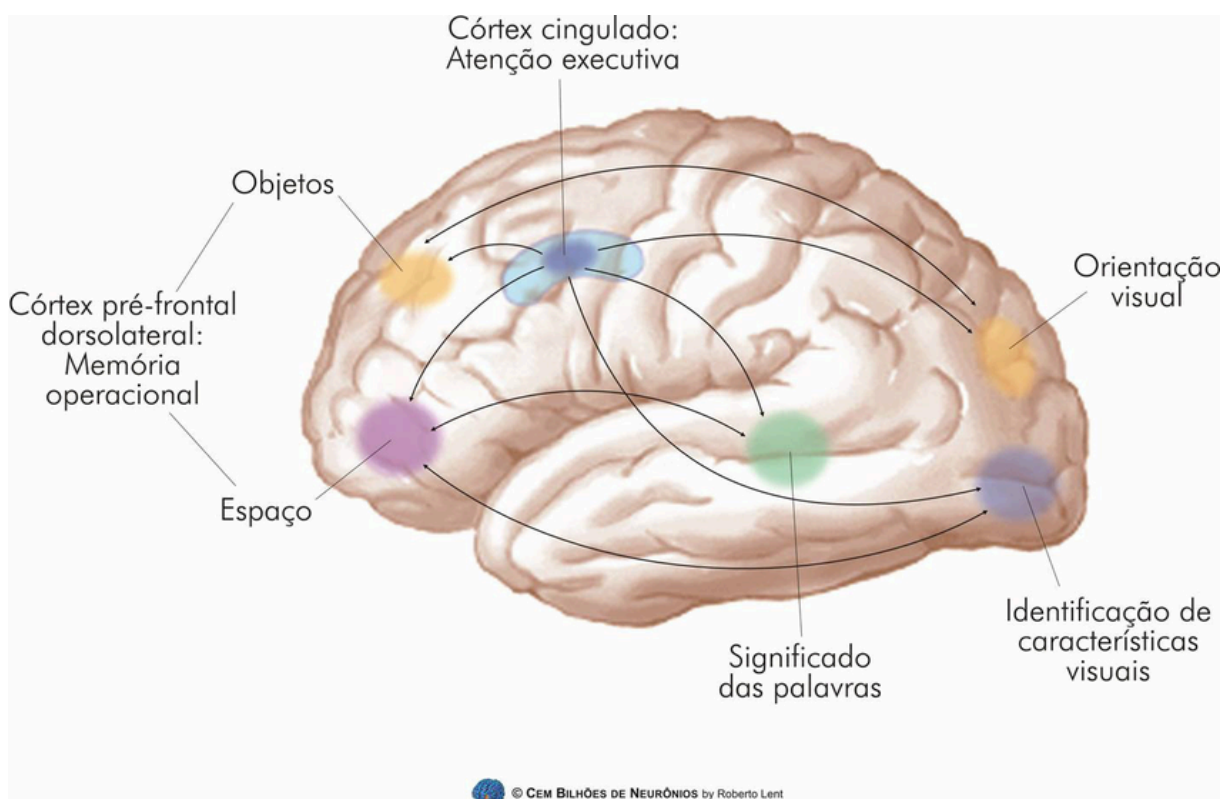
No contexto do MTAMM, a Flexibilidade Cognitiva pode ser vista como o mecanismo que favorece a reconfiguração das ações mentais ao longo da resolução de um problema. Ela contribui, por exemplo, para que o estudante possa alternar entre ações como

representar, interpretar, algebrizar, generalizar e verificar, sem permanecer limitado a uma única forma de atuação.

2.5 REGIÕES CEREBRAIS ASSOCIADAS ÀS FUNÇÕES EXECUTIVAS

As funções executivas não dependem de uma única área do cérebro, mas de uma rede distribuída de regiões que atuam de forma coordenada. De modo geral, essa rede envolve principalmente o córtex pré-frontal, o córtex cingulado anterior, regiões parietais posteriores e, em menor medida, estruturas subcorticais como núcleos da base e cerebelo. Cada um desses componentes contribui de maneira específica para processos como planejamento, monitoramento, controle inibitório, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva (Diamond, 2013).

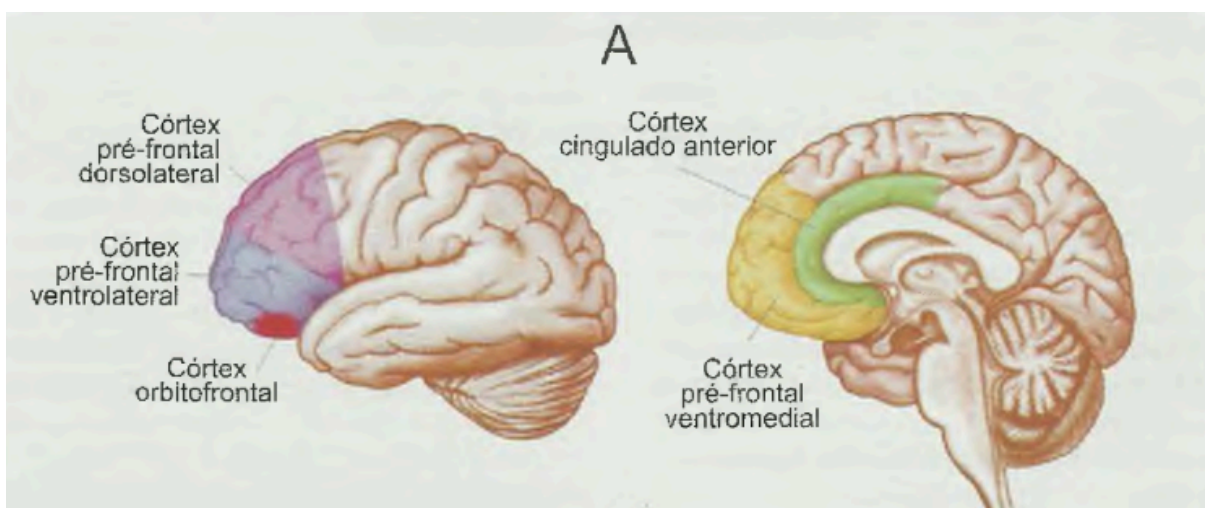
Figura 1: Esquema simplificado das funções do córtex pré frontal



Fonte: Lent (2010, p. 744)

O córtex pré-frontal, especialmente em suas porções dorsolateral e ventrolateral, é frequentemente apontado como o principal substrato das Funções Executivas. Estudos em neuroimagem indicam que essa região está envolvida na manutenção de objetivos, na atualização de informações relevantes e na coordenação de múltiplas etapas de uma tarefa (Dehaene, 2011). Em atividades matemáticas, o córtex pré-frontal dorsolateral é particularmente recrutado quando o estudante precisa manter em mente dados do problema, comparar alternativas e reorganizar a estratégia de resolução, o que evidencia sua participação na memória de trabalho e no controle inibitório (Miller; Cohen, 2001; Baddeley, 2012; Diamond, 2013; Dehaene, 2011; Ansari, 2012).

Figura 2: Subdivisões funcionais do córtex pré frontal



Fonte: Lent (2010, p. 739)

O córtex cingulado anterior, por sua vez, está associado ao monitoramento de desempenho, à detecção de erros e de conflitos entre respostas concorrentes (Ansari, 2019). Quando o sujeito percebe que o caminho seguido não está produzindo resultados coerentes, essa região é ativada, sinalizando a necessidade de ajustar o curso da ação. Em termos de funções executivas, o córtex cingulado anterior contribui para o monitoramento contínuo do raciocínio, favorecendo que o indivíduo identifique inconsistências e decida se deve manter, modificar ou abandonar a estratégia utilizada (Botvinick *et al.*, 2001; Holroyd; Coles, 2002; Ridderinkhof *et al.*, 2004; Diamond, 2013).

Regiões parietais posteriores, em especial o sulco intraparietal, estão envolvidas no processamento de quantidades, na manipulação de magnitudes e na coordenação de representações espaciais e simbólicas (Dehaene, 2011; Ansari, 2019). Em tarefas

matemáticas, essas áreas participam tanto de operações numéricas básicas quanto de procedimentos algébricos e de interpretação gráfica, dialogando diretamente com ações mentais ligadas à representação, à visualização e à manipulação simbólica. A interação entre córtex pré-frontal e regiões parietais sustenta, assim, a integração entre controle executivo e processamento matemático (Dehaene et al., 2003; Dehaene, 2011; Ansari, 2012; Menon, 2016).

Outras estruturas, como o giro angular, os núcleos da base e o cerebelo, também desempenham papéis relevantes na cognição matemática. O giro angular tem sido associado à integração entre linguagem e simbolização matemática, contribuindo para a compreensão de enunciados e para a articulação entre representações verbais e simbólicas (Dehaene et al., 2003; Dehaene, 2011; Grabner et al., 2009). Já os núcleos da base e o cerebelo relacionam-se à automatização de procedimentos e ao ajuste fino de sequências de ação, favorecendo a transição de estratégias mais exigentes e deliberadas para formas de resolução mais eficientes e menos dependentes de controle consciente (Graybiel, 2008; Ashby *et al.*, 2010; Ito, 2008; Stoodley; Schmahmann, 2010).

Do ponto de vista neurocognitivo, a resolução de tarefas matemáticas complexas, como questões de Limite, apoia-se na atuação integrada de uma rede fronto-parietal-cingulada, responsável pela regulação do controle executivo (Miller; Cohen, 2001; Ridderinkhof *et al.*, 2004). Essa rede sustenta processos associados à Memória de Trabalho, ao Controle Inibitório, à Flexibilidade Cognitiva e ao monitoramento do raciocínio (Baddeley, 2012; Diamond, 2013), os quais são amplamente requisitados em atividades matemáticas que demandam manipulação simbólica, transição entre representações e verificação conceitual (Dehaene *et al.*, 2003; Dehaene, 2011; Tall, 2013). Nesse contexto, tais processos executivos regulam a mobilização e a articulação das Ações Mentais Matemáticas descritas pelo MTAMM, influenciando diretamente a qualidade das resoluções produzidas (Alvarenga; Domingos, 2020).

2.6 AS AÇÕES MENTAIS MATEMÁTICAS E AS FUNÇÕES EXECUTIVAS

Com o objetivo de integrar, em um mesmo quadro teórico, os processos de construção conceitual do pensamento matemático e os mecanismos de regulação cognitiva que os sustentam, apresenta-se, a seguir, um quadro-síntese (Quadro 2) que articula o Modelo Teórico das Ações Mentais Matemáticas (MTAMM) com o modelo das Funções Executivas.

O MTAMM descreve o pensamento matemático como resultado da mobilização e coordenação de ações mentais que conduzem da experiência inicial à abstração conceitual (Alvarenga; Domingos, 2020), em consonância com perspectivas que enfatizam a transformação progressiva das ações em estruturas mentais mais estáveis (Piaget, 1977; Tall, 2004). Por sua vez, o modelo das Funções Executivas, conforme proposto por Miyake *et al.* (2000) e aprofundado por Diamond (2013), descreve os processos responsáveis por planejar, monitorar, inibir e flexibilizar a atividade cognitiva, sendo amplamente associado à resolução de tarefas matemáticas que exigem coordenação entre representações, controle de respostas automáticas e ajuste contínuo de estratégias (Baddeley, 2012; Dehaene, 2011; Ansari, 2019). A articulação entre esses dois modelos permite compreender o raciocínio matemático como um sistema integrado, no qual as ações mentais constituem as unidades cognitivas de base e as Funções Executivas atuam como um sistema regulador de nível superior, orientando e refinando a mobilização dessas ações ao longo da resolução de problemas (Diamond, 2013; Fonseca; Boruchovitch, 2021).

Quadro 2: Articulação teórica entre o Modelo Teórico de Ações Mentais Matemáticas (MTAMM) e as Funções Executivas na regulação do pensamento matemático

Dimensão	Modelo Teórico de Ações Mentais Matemáticas (MTAMM)	Funções Executivas (FE)	Articulação com o pensamento matemático	Referenciais teóricos
Natureza do modelo	Explica como o conhecimento matemático é construído a partir da mobilização e coordenação de ações mentais.	Explica como esses processos são regulados, monitorados e ajustados ao longo da atividade cognitiva.	O pensamento matemático emerge da interação entre operações cognitivas (AMM) e mecanismos de controle (FE).	Alvarenga; Domingos (2020); Miyake et al. (2000); Diamond (2013)
Foco principal	Ações mentais envolvidas na construção conceitual: identificar, representar, interpretar, algebrizar,	Processos de regulação: memória de trabalho, controle inibitório, flexibilidade cognitiva e	As FE organizam, sequenciam e regulam a mobilização das AMM ao longo da resolução.	Alvarenga; Domingos (2020); Tall (2004); Diamond (2013)

	generalizar e verificar.	monitoramento executivo.		
Organização do raciocínio	Descreve trajetórias cognitivas que conduzem da experiência inicial à abstração conceitual.	Planeja, mantém o foco, inibe respostas inadequadas e ajusta estratégias conforme a tarefa evolui.	As FE garantem que as trajetórias descritas pelo MTAMM ocorram de forma coerente e orientada a objetivos.	Miyake et al. (2000); Diamond (2013)
Memória de Trabalho	Sustenta a coordenação simultânea de múltiplas ações mentais e representações matemáticas.	Mantém e manipula temporariamente e informações relevantes para a resolução do problema.	Permite articular dados do enunciado, transformações algébricas e interpretações gráficas.	Baddeley (2012); Diamond (2013)
Controle Inibitório	Evita a ativação de ações mentais inadequadas ou prematuras.	Inibe respostas automáticas inconsistentes com as condições da tarefa.	Impede a aplicação precipitada de procedimentos inadequados, como a substituição direta em situações de indeterminação.	Miyake et al. (2000); Diamond (2013)
Flexibilidade Cognitiva	Possibilita transitar entre diferentes ações mentais e representações.	Permite reorganizar estratégias diante de impasses.	Sustenta a transição entre registros e “mundos” matemáticos (encarnado, simbólico e formal).	Tall (2004); Diamond (2013); Leikin; Katz (2019)
Monitoramento Cognitivo	Relaciona-se à ação de verificar e avaliar a coerência do raciocínio matemático.	Detecta inconsistências e sinaliza a necessidade de ajuste da estratégia.	Garante a consistência lógica e o refinamento contínuo das resoluções.	Diamond (2013); Fonseca; Boruchovitch (2021)
Base teórica	Inspira-se na	Apoia-se nas	Integra	Piaget (1977);

ampliada	ideia piagetiana de coordenação progressiva de ações interiorizadas.	neurociências cognitivas e nas redes fronto-parietais-cinguladas.	construção conceitual e controle neurocognitivo do pensamento matemático.	Dehaene (2011); Ansari (2019)
Implicações para o ensino	Valoriza a explicitação e articulação consciente das ações mentais.	Destaca a importância da autorregulação, do planejamento e da reflexão sobre o erro.	O êxito em matemática depende tanto da variedade de AMM mobilizadas quanto da qualidade do controle executivo.	Bull; Scerif (2001); Blair; Razza (2007); Gonçalves (2025)

Fonte: Elaborado pela autora com base, principalmente, em Alvarenga e Domingos (2020), Miyake *et al.* (2000) e Diamond (2013), além dos demais referenciais citados no próprio quadro.

Diante dessa articulação teórica, compreende-se que a análise do pensamento matemático requer considerar, de forma integrada, tanto as Ações Mentais Matemáticas mobilizadas quanto os mecanismos de regulação executiva que orientam sua coordenação. Essa perspectiva fundamenta as escolhas metodológicas deste estudo, que busca investigar empiricamente como AMM e funções executivas se articulam na resolução de uma questão de Limite em Cálculo Diferencial, conforme será detalhado na seção seguinte.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem quanti-qualitativa, também denominada pesquisa de método misto, na qual informações quantitativas e qualitativas são coletadas e analisadas de forma articulada, com o intuito de alcançar uma compreensão mais abrangente do fenômeno estudado. Nessa perspectiva, o desenho misto permite combinar a mensuração estatística com a interpretação de significados, favorecendo a triangulação de evidências e o enriquecimento explicativo dos resultados (Creswell, 2014).

Especificamente, optou-se por um desenho de métodos mistos do tipo convergente, em que as bases quantitativa (análise de 41 resoluções) e qualitativa (entrevistas semiestruturadas com três participantes) são produzidas em momentos próximos e examinadas separadamente, para depois serem colocadas em diálogo na etapa de interpretação. Nesse tipo de desenho, conforme descrevem Creswell e Plano Clark (2011) e Creswell (2014), ambas as abordagens são tratadas com peso equivalente, analisadas de forma independente e, em seguida, comparadas e integradas, de modo que um possa confirmar, complementar ou tensionar os resultados uma da outra. Essa integração apoia-se no princípio da triangulação, entendida como o uso intencional de múltiplas fontes ou tipos de dados para fortalecer a validade das conclusões, identificar convergências e explicitar divergências na compreensão de um mesmo fenômeno (Creswell, 2014).

Participaram da pesquisa 41 estudantes do curso de Matemática da Universidade Federal de Goiás (UFG) matriculados na disciplina de Cálculo Diferencial no primeiro semestre de 2025. Esse número corresponde à totalidade dos discentes que aceitaram participar voluntariamente da investigação e que preencheram corretamente o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), em conformidade com as diretrizes éticas brasileiras para pesquisas com seres humanos, estabelecidas pela Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde (Brasil, 2016).

No plano quantitativo, os dados consistiram nas resoluções escritas de 41 estudantes para uma questão de Limite. A análise envolveu a identificação e quantificação das Ações Mentais Matemáticas (AMM) presentes em cada resolução, com base no Modelo Teórico das Ações Mentais Matemáticas (MTAMM), proposto por Alvarenga e Domingos (2020). Foram realizadas análises estatísticas descritivas e inferenciais com o objetivo de verificar relações

entre o número de ações mobilizadas e o desempenho dos estudantes (resolução correta ou incorreta), produzindo indicadores numéricos que orientam a etapa interpretativa.

Já a etapa qualitativa da pesquisa fundamentou-se em algumas ideias da Análise de Conteúdo, sistematizadas por Bardin (2011), e em alguns elementos da Análise Textual Discursiva (Moraes; Galiazzi, 2016). A partir de resoluções selecionadas e de entrevistas semiestruturadas com três estudantes, buscou-se compreender, em maior profundidade, como as Ações Mentais Matemáticas e as Funções Executivas se manifestam na resolução da questão de Limite e como os participantes descrevem seus próprios processos de raciocínio.

A integração entre os resultados quantitativos e qualitativos foi realizada na etapa final de análise, conforme sugerem Creswell (2014, 2021) e Creswell e Plano Clark (2011), buscando identificar padrões de convergência entre o desempenho estatístico e os aspectos cognitivos e metacognitivos evidenciados nas resoluções e nos relatos dos estudantes. Essa integração é central em pesquisas de métodos mistos, pois permite que as evidências obtidas por meio da mensuração dialoguem com as compreensões subjetivas dos participantes, produzindo uma visão mais holística do fenômeno investigado.

Dessa forma, esta pesquisa procura combinar o rigor analítico da quantificação com a profundidade interpretativa da análise de conteúdo e da análise textual discursiva, assegurando consistência metodológica e sustentação teórica para os resultados. Essa escolha metodológica encontra respaldo nas discussões de Creswell (2014, 2021), que destaca a relevância da triangulação e da combinação de diferentes fontes de evidência para o fortalecimento da credibilidade e da riqueza interpretativa em estudos nas ciências humanas e na educação.

3.2 PROCEDIMENTO DE COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados foram coletados a partir de uma situação autêntica de avaliação. A questão de Limite analisada neste estudo não foi elaborada exclusivamente para fins de pesquisa, mas retirada de uma prova de Cálculo Diferencial aplicada regularmente na disciplina. Posteriormente, essa questão foi selecionada por atender a dois critérios principais: (i) tratar-se de um enunciado “clássico” de limite, que envolve condições de existência do limite e manipulação algébrica e/ou gráfica, em consonância com as dificuldades descritas na literatura (Tall, 1993, 2004); e (ii) exigir do estudante a coordenação de diferentes registros de representação e estratégias de resolução, o que pressupõe o acionamento de funções

executivas, como Memória de Trabalho, Controle Inibitório e Flexibilidade Cognitiva (Duval, 2003; Diamond, 2013; Leikin *et al.*, 2009).

A situação proposta na prova consistiu no cálculo do limite de uma função racional do tipo quociente de polinômios quadráticos. Pedia-se ao estudante que determinasse o valor do limite da função racional quando a variável x se aproxima de 1, exigindo a análise do comportamento da expressão algébrica nas proximidades desse ponto, como mostra a figura 3.

Figura 3: Questão de Limite da avaliação de Cálculo Diferencial

$$b) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} =$$

Fonte: Retirada de uma avaliação de Cálculo Diferencial aplicada no primeiro semestre de 2025 na Universidade Federal de Goiás (2025).

As resoluções produzidas pelos estudantes foram escaneadas após a correção e, mediante autorização dos participantes, passaram a compor o corpus da pesquisa. Cada resolução foi identificada por um código numérico, de modo a preservar o anonimato e, ao mesmo tempo, permitir o acompanhamento sistemático nas etapas posteriores. Essas produções constituíram a base principal dos dados quantitativos: a partir delas, foram identificadas e quantificadas as Ações Mentais Matemáticas mobilizadas em cada solução, de acordo com o Modelo Teórico das Ações Mentais Matemáticas (MTAMM) proposto por Alvarenga e Domingos (2020), bem como registrado o desempenho na questão (resolução correta ou incorreta).

A identificação das Ações Mentais Matemáticas nas resoluções foi realizada a partir de critérios operacionais baseados em evidências explícitas presentes na produção escrita dos estudantes. Cada AMM foi reconhecida somente quando havia indícios observáveis na resolução, tais como registros algébricos, transformações simbólicas, mudanças de representação, anotações verbais ou procedimentos matemáticos coerentes com os descritores definidos no Modelo Teórico das Ações Mentais Matemáticas (MTAMM) (Alvarenga; Domingos, 2020). A análise considerou a correspondência direta entre essas evidências e as AMM descritas no modelo, como identificar, representar, manipular algebricamente,

interpretar e verificar. Para evitar superestimação, cada AMM foi contabilizada apenas uma vez por resolução, independentemente do número de ocorrências. Esse procedimento foi realizado em diálogo com o GEEM - UFG (Grupo de Estudos em Educação Matemática - UFG), no qual os critérios de identificação foram previamente discutidos e validados, e os casos ambíguos analisados coletivamente, buscando consenso teórico. Tal estratégia conferiu maior rigor, transparência e confiabilidade ao processo de categorização das AMM.

Além da análise das resoluções, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com três estudantes, com o objetivo de aprofundar a compreensão dos processos cognitivos e executivos envolvidos na resolução da questão. A seleção desses participantes ocorreu, em um primeiro momento, por conveniência, contemplando os estudantes que se dispuseram voluntariamente a participar das entrevistas. Entretanto, à medida que os discursos e as resoluções iam sendo analisados, constatou-se que essa seleção também podia ser caracterizada como intencional, pois os três casos apresentavam perfis cognitivos distintos e diferentes formas de resolver a questão, o que conferiu maior riqueza e diversidade qualitativa ao corpus. Havia, ainda, diversidade de desempenho: dois estudantes obtiveram êxito na resolução e um não chegou ao resultado correto, o que está em consonância com a ideia de escolha de casos informativos e contrastantes discutida por Bardin (2011).

As entrevistas foram realizadas individualmente, em horários previamente agendados, e orientadas por um roteiro que convidava o estudante a reconstruir seu raciocínio: como interpretou o enunciado, por que escolheu determinadas estratégias, em que momento percebeu dificuldades e como avaliou o resultado obtido. O roteiro foi elaborado com base no MTAMM e nas discussões sobre metacognição e Funções Executivas apresentadas na seção 2. Todas as entrevistas foram gravadas em áudio, com autorização dos participantes, transcritas integralmente e revisadas.

Do ponto de vista metodológico, as resoluções escritas constituíram a principal fonte de dados para a análise quantitativa, permitindo a contagem e a comparação do número de AMM mobilizadas pelos estudantes. As entrevistas, por sua vez, compuseram o núcleo do *corpus* qualitativo, possibilitando explorar como os participantes narram seus processos de pensamento, descrevem mudanças de estratégia, monitoram o próprio raciocínio e articulam diferentes representações na resolução da questão de Limite. Ao final, os dados foram organizados em bancos distintos – um quantitativo, voltado às análises estatísticas, e outro qualitativo, voltado às análises de conteúdo e textual discursiva –, que seriam posteriormente integrados na etapa de interpretação conjunta dos resultados.

3.3 METODOLOGIA DE ANÁLISE DE DADOS

3.3.1 Metodologia de análise quantitativa

A análise quantitativa teve como objetivo principal investigar a relação entre o número de Ações Mentais Matemáticas (AMM) mobilizadas por cada estudante e o desfecho obtido na questão de limite (resolução correta ou incorreta). Para isso, foram utilizadas as 41 resoluções descritas na seção anterior, inicialmente organizadas em uma planilha eletrônica. Como um dos estudantes deixou a questão em branco, sua resolução foi excluída das análises, de modo que o *corpus* quantitativo final foi constituído por 40 participantes.

Para cada resolução, registraram-se duas variáveis: (i) a quantidade total de AMM mobilizadas, de acordo com o conjunto de ações definido a partir do Modelo Teórico das Ações Mentais Matemáticas (MTAMM), proposto por Alvarenga e Domingos (2020); e (ii) o resultado da questão, categorizado em “Correto” ou “Incorreto”. Esse pareamento entre número de AMM e desempenho na questão de Limite está resumido no Quadro 3, que apresenta o conjunto de dados utilizado na análise quantitativa.

Quadro 3: Quantidade de Ações Mentais Matemáticas mobilizadas e resultado na questão de Limite

Estudante	Quantidade de AMM mobilizadas	Resultado
E1	5	Correto
E2	6	Correto
E3	6	Correto
E4	2	Incorreto
E5	5	Correto
E6	3	Incorreto
E7	3	Incorreto
E8	3	Incorreto
E9	1	Incorreto
E10	6	Correto
E11	3	Incorreto
E12	1	Incorreto

E13	5	Correto
E14	6	Correto
E15	4	Incorreto
E16	4	Incorreto
E17	4	Incorreto
E18	6	Correto
E19	5	Correto
E20	4	Incorreto
E21	5	Correto
E22	4	Correto
E23	1	Incorreto
E24	5	Correto
E25	2	Incorreto
E26	1	Incorreto
E27	3	Incorreto
E28	2	Incorreto
E29	3	Incorreto
E30	4	Incorreto
E31	1	Incorreto
E32	3	Incorreto
E33	7	Correto
E34	5	Correto
E35	1	Incorreto
E36	3	Incorreto
E37	2	Incorreto
E38	5	Correto
E39	5	Correto
E40	7	Correto

Fonte: Elaborado pela autora com dados da pesquisa (2025)

Os dados apresentados no Quadro 3 foram organizados em um arquivo no formato .csv, no qual cada linha correspondia a um estudante e cada coluna às variáveis “quantidade de AMM mobilizadas” e “resultado da questão”. Em seguida, o banco de dados foi importado para o software Jamovi (Jamovi Project, 2023), ambiente estatístico de código aberto baseado na linguagem R, utilizado para as análises descritivas e inferenciais.

Inicialmente, foram calculadas medidas de estatística descritiva para o número de AMM mobilizadas em cada grupo (estudantes que acertaram e estudantes que erraram a questão), incluindo medidas de tendência central e de dispersão, bem como frequências para cada categoria de desempenho. Na sequência, verificou-se a adequação do uso de testes paramétricos por meio do teste de normalidade de Shapiro–Wilk (Shapiro; Wilk, 1965), aplicado às distribuições do número total de AMM em cada grupo. Como os resultados indicaram violação do pressuposto de normalidade, optou-se pela utilização de um teste não paramétrico.

Para comparar o número de AMM mobilizadas entre os estudantes que resolveram corretamente a questão de limite e aqueles que não obtiveram o resultado correto, empregou-se o teste de Mann–Whitney U, adequado para comparar duas amostras independentes quando não se pode supor a normalidade dos dados (Field, 2013). Adotou-se um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Além do valor-p, foram consideradas medidas de tamanho de efeito, com o intuito de qualificar a magnitude prática das diferenças observadas entre os grupos.

Dessa forma, a análise quantitativa permitiu examinar se há associação entre o desempenho na questão de Limite e o número de Ações Mentais Matemáticas mobilizadas pelos estudantes, produzindo indicadores que orientaram e complementaram as interpretações desenvolvidas na análise qualitativa.

3.3.1.2 Aspectos estatísticos dos testes utilizados

O teste de Shapiro–Wilk foi utilizado para verificar se a distribuição do número de AMM mobilizadas em cada grupo (Correto e Incorreto) poderia ser aproximada por uma distribuição normal. Em termos gerais, esse teste compara os valores observados, ordenados em ordem crescente, com os valores que seriam esperados se a amostra tivesse origem em uma população perfeitamente normal (Shapiro; Wilk, 1965). O coeficiente W é calculado a partir de uma combinação linear dos dados ordenados, dividida pela variância amostral, sendo expresso como:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_i \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

x_i = valores ordenados da amostra (do menor para o maior);

\bar{x} = média amostral;

a_i = coeficientes de Shapiro-Wilk, que dependem do tamanho da amostra (n);

O denominador é a variância amostral (S^2), x_i representa os valores da amostra em ordem crescente, \bar{x} é a média amostral e a_i são coeficientes obtidos a partir da matriz de covariância de uma amostra normal teórica (Shapiro; Wilk, 1965). Valores de W próximos de 1 indicam maior aderência à normalidade, ao passo que valores menores, associados a baixos valores de p, sugerem que a hipótese de normalidade deve ser rejeitada. No presente estudo, o cálculo de W e dos respectivos valores de p foi realizado automaticamente pelo *software* Jamovi, servindo como critério para decidir entre o uso de testes paramétricos ou não paramétricos.

Uma vez constatada a violação da normalidade, optou-se pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney U para comparar o número de AMM entre os estudantes que acertaram e os que erraram a questão de Limite. Diferentemente de testes paramétricos baseados em médias e variâncias, o teste de Mann-Whitney trabalha com os postos (*ranks*) dos dados combinados dos dois grupos (Field, 2013).

Em linhas gerais, todos os valores de AMM são ordenados em conjunto e cada observação recebe um posto; em seguida, compara-se a soma dos postos de cada grupo. Se um grupo tende a apresentar valores sistematicamente maiores, a soma de seus postos também será maior, e o estatístico U, obtido pela fórmula:

$$U = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1$$

em que n_1 e n_2 são os tamanhos dos grupos e R_1 é a soma dos postos do grupo 1, assume valores compatíveis com essa diferença. O valor de p associado a U indica se essa diferença é estatisticamente significativa, isto é, improvável de ser atribuída apenas ao acaso (Field, 2013).

Além de verificar se a diferença entre os grupos é estatisticamente significativa, é importante avaliar sua magnitude prática. Para isso, calculou-se o tamanho de efeito r , a partir do escore padronizado z do teste de Mann–Whitney, pela expressão:

$$r = \frac{|z|}{\sqrt{N}}$$

em que N é o tamanho da amostra, de modo que valores mais próximos de 1 indicam efeitos de maior magnitude (Field, 2013).

3.3.2 Metodologia de Análise Qualitativa

A análise qualitativa teve como objetivo aprofundar a compreensão de como as Ações Mentais Matemáticas e as Funções Executivas se manifestam na resolução da questão de Limite, tanto nas resoluções escritas quanto nos relatos dos estudantes. Diferentemente da etapa quantitativa, centrada na contagem do número de AMM, a análise qualitativa buscou interpretar a qualidade das AMM e dos mecanismos de controle executivo mobilizados. Para isso, foram consideradas duas fontes principais de dados: (i) as resoluções dos estudantes, examinadas sob a ótica das Funções Executivas; e (ii) as três entrevistas semiestruturadas.

Do ponto de vista metodológico, os procedimentos adotados dialogam com as fases propostas por Bardin (2011) para a Análise de Conteúdo – pré-análise, exploração do material, tratamento dos resultados, inferência e interpretação – e com os movimentos de unitarização, categorização e produção de metatextos descritos por Moraes e Galiazzi (2016) na Análise Textual Discursiva. Esses referenciais não foram seguidos de maneira rígida, mas ofereceram um roteiro conceitual para organizar o *corpus*, fragmentar o texto em unidades de sentido e construir categorias articuladas ao MTAMM e às Funções Executivas.

No que se refere às resoluções, além de sua utilização na etapa quantitativa, elas foram analisadas qualitativamente com o objetivo de inferir o grau de desenvolvimento das

Funções Executivas de cada estudante. Para isso, com base no referencial de Miyake *et al.* (2000), Diamond (2013) e em estudos de Neurociência Cognitiva aplicados à Matemática (Dehaene, 2011; Ansari, 2019), foi elaborado um quadro (Apêndice A) de classificação que descreve indicadores comportamentais associados a três Funções Executivas centrais: Memória de Trabalho, Controle Inibitório e Flexibilidade Cognitiva. A construção desse quadro foi inspirada nos princípios da Análise de Conteúdo proposta por Bardin (2016), especialmente no que se refere à leitura sistemática do material, à identificação de unidades de sentido e à categorização, embora não tenha sido aplicada de forma rígida e protocolar. A partir dessa análise, definiram-se descritores de desempenho organizados em três níveis – Baixo, Médio e Alto –, fundamentados no critério de evidências observáveis nas produções escritas. A validade dessa classificação decorre do fato de que as resoluções matemáticas constituem manifestações externas de processos cognitivos internos, permitindo inferir, de modo qualitativo, o grau de regulação executiva envolvido durante a resolução da questão. Ainda assim, para minimizar o risco de superinterpretação, as inferências sobre o nível de desenvolvimento das Funções Executivas se ancoraram, rigidamente, em padrões recorrentes de organização, coordenação de etapas, persistência ou abandono de estratégias e presença de revisão ou verificação – como a capacidade de manter e coordenar informações ao longo da resolução, de inibir procedimentos automáticos inadequados e de reorganizar estratégias ou representações diante de impasses. A classificação considerou, também, o conjunto da resolução, e não episódios isolados. Essas estratégias conferem maior rigor e confiabilidade ao processo analítico, reduzindo a subjetividade inerente à interpretação qualitativa.

No que se refere às entrevistas, a análise qualitativa concentrou-se nas três transcrições integrais produzidas com os estudantes selecionados. Esta etapa metodológica foi inspirada na Análise Textual Discursiva (ATD), proposta por Moraes e Galiuzzi (2016), por se tratar de um método que possibilita a interpretação aprofundada de discursos e a produção de metatextos explicativos, que são adequados quando se quer compreender como processos cognitivos se manifestam na linguagem dos sujeitos.

A primeira etapa da ATD correspondeu ao processo de desmontagem dos textos, no qual foi realizada uma leitura atenta e reiterada das transcrições, com o objetivo de identificar trechos relevantes para o problema de pesquisa. Nessa fase, os discursos foram fragmentados em unidades de sentido, entendidas como segmentos de fala que expressavam ações cognitivas, estratégias adotadas, decisões tomadas durante a resolução ou reflexões sobre o próprio raciocínio. Essas unidades incluíram, por exemplo, referências à interpretação do

enunciado, à escolha ou abandono de procedimentos, à mudança de representação, à verificação de resultados e à percepção de dificuldades ou impasses.

Na etapa seguinte, correspondente ao movimento de estabelecimento de relações e categorização, as unidades de sentido foram organizadas em categorias analíticas, construídas de forma progressiva e iterativa. Esse processo foi orientado por dois eixos teóricos complementares. O primeiro eixo esteve relacionado às Ações Mentais Matemáticas, tomando como referência o conjunto de ações descritas no MTAMM (Alvarenga; Domingos, 2020). O segundo eixo concentrou-se nas Funções Executivas, especialmente Memória de Trabalho, Controle Inibitório e Flexibilidade Cognitiva, conforme discutido nos referenciais de Miyake et al. (2000) e Diamond (2013). As categorias não foram definidas a priori de forma rígida, mas refinadas por meio de idas e vindas entre as unidades de sentido e o referencial teórico, em consonância com a lógica reconstrutiva da ATD.

A etapa final da análise correspondeu à produção de metatextos, característica central da Análise Textual Discursiva. Nessa fase, as categorias construídas foram reinterpretadas e articuladas em textos analíticos que buscaram explicitar como as Funções Executivas e as Ações Mentais Matemáticas se manifestaram nos discursos dos estudantes, evidenciando modos de organização do raciocínio, estratégias de regulação cognitiva e relações entre o dizer e o fazer matemático. Esses metatextos permitiram compreender de que maneira os estudantes narram, justificam e avaliam suas próprias ações durante a resolução da questão de Limite, bem como analisar convergências e tensões entre as estratégias relatadas e aquelas inferidas a partir das resoluções escritas.

Com o intuito de sistematizar os procedimentos da análise qualitativa adotados nesta pesquisa, o quadro a seguir (Quadro 4) organiza as fontes de dados, os referenciais metodológicos e os critérios analíticos empregados na interpretação das resoluções escritas e das entrevistas. Esse quadro evidencia a coerência interna do percurso metodológico e a articulação entre Análise de Conteúdo e Análise Textual Discursiva no estudo da manifestação das Ações Mentais Matemáticas e das Funções Executivas na resolução da questão de Limite.

Quadro 4: Síntese dos procedimentos de análise qualitativa das resoluções e entrevistas

Dimensão	Objeto de análise	Referencial metodológico	Procedimentos adotados	Finalidade analítica	Referenciais teóricos
Objetivo da análise qualitativa	Resoluções escritas e entrevistas	Elementos de Análise de Conteúdo e de Análise Textual Discursiva	Análise integrada de produções escritas e discursos dos estudantes	Compreender como AMM e as FE se manifestam e se articulam na resolução de uma questão de Limite	Creswell (2014); Bardin (2016); Moraes e Galiazzi (2016) Alvarenga; Domingos (2020)
Análise das resoluções	Funções Executivas	Análise de Conteúdo (como inspiração)	Leitura sistemática das resoluções; identificação de unidades de sentido relacionadas à regulação do raciocínio; Identificação de padrões recorrentes de organização, coordenação de etapas, persistência, abandono de estratégias e verificação	Inferir o grau de desenvolvimento das Funções Executivas a partir de evidências observáveis classificando em níveis Baixo, Médio e Alto	Bardin (2016); Miyake <i>et al.</i> (2000); Diamond (2013); Dehaene (2011); Ansari (2019)
Critério de inferência	Produções escritas	Inferência rígida e controlada	Análise do conjunto da resolução; exclusão de episódios isolados; ancoragem em evidências explícitas	Reduzir superinterpretação e garantir rigor interpretativo	Bardin (2016); Fonseca; Boruchovitch (2021)
Fonte de dados	Entrevistas semiestruturadas	Elementos de Análise Textual	Transcrição integral das entrevistas	Compreender a manifestação discursiva das	Moraes e Galiazzi (2016)

		Discursiva (ATD)		AMM e das FE	
Etapa 1 – ATD	Discurso dos estudantes	Desmontagem dos textos	Leitura reiterada; fragmentação em unidades de sentido	Identificar ações cognitivas, estratégias e processos de regulação	Miyake <i>et al.</i> (2000); Diamond (2013); Moraes; Galiazzi (2016)
Etapa 2 – ATD	Unidades de sentido	Categorização iterativa	Organização das unidades em dois eixos: AMM e FE	Estruturar analiticamente os discursos	Alvarenga; Domingos (2020); Miyake <i>et al.</i> (2000); Diamond (2013); Moraes; Galiazzi (2016)
Etapa 3 – ATD	Categorias construídas	Produção de metatextos	Elaboração de textos interpretativos	Explicitar como as AMM e as FE se manifestam nos discursos	Alvarenga; Domingos (2020); Miyake <i>et al.</i> (2000); Diamond (2013); Moraes; Galiazzi (2016)
Integração analítica	Resoluções + entrevistas	Abordagem mista	Confronto entre classificação das FE nas resoluções e metatextos das entrevistas	Identificar convergências e tensões entre o fazer matemático e o discurso sobre o fazer	Creswell (2014); Alvarenga; Domingos (2020); Miyake <i>et al.</i> (2000); Diamond (2013)

Resultado metodológico	Raciocínio matemático dos estudantes	Integração MTAMM–FE	Articulação entre AMM e mecanismos de regulação executiva	Sustentar a análise dos resultados qualitativos e quantitativos	Alvarenga; Domingos (2020); Miyake et al. (2000); Diamond (2013)
------------------------	--------------------------------------	---------------------	---	---	--

Fonte: Elaborado pela autora, com base em Alvarenga e Domingos (2020), Bardin (2011, 2016), Creswell (2014), Fonseca e Boruchovitch (2021), Dehaene (2011), Ansari (2019), Moraes e Galiazzi (2016), Miyake *et al.* (2000) e Diamond (2013).

A articulação entre os procedimentos analíticos adotados constitui o alicerce metodológico deste estudo. Essa construção possibilitou um olhar integrado sobre o raciocínio matemático dos estudantes, contemplando tanto os aspectos observáveis de suas produções quanto os sentidos atribuídos por eles às próprias estratégias. Com base nesse percurso, a seção seguinte apresenta os resultados da pesquisa, nos quais os achados quantitativos e qualitativos são articulados e interpretados à luz do referencial teórico do MTAMM e das Funções Executivas, permitindo uma compreensão mais abrangente dos processos cognitivos envolvidos na resolução da questão analisada neste estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE QUANTITATIVA

4.1.1 Estatística Descritiva

A Tabela 1 apresenta as principais medidas descritivas do número de AMM mobilizadas, separadas conforme o desempenho na questão de limite.

Tabela 1 – Medidas descritivas do número de AMM mobilizadas por grupo de desempenho

Grupo	n	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio-Padrão	Coefficiente de Variação
Correto	17	4	7	5,47	5	0,80	14,62%
Incorreto	23	1	4	2,52	3	1,12	44,44%

Fonte: Elaborado pela autora com dados da pesquisa (2025)

Observou-se que os estudantes que resolveram corretamente a questão mobilizaram, em média, cerca de 5,47 ações mentais matemáticas, enquanto aqueles que não obtiveram o resultado correto mobilizaram, em média, 2,52 ações mentais. A diferença entre as médias é próxima de três ações ($\approx 2,95$), indicando, já na estatística descritiva, uma tendência consistente: as resoluções corretas envolvem um número maior de mobilização de AMM.

Em termos de dispersão relativa, o coeficiente de variação (CV) revelou diferenças expressivas entre os grupos. Enquanto os estudantes que acertaram a questão apresentaram CV de aproximadamente 14,6%, indicando maior homogeneidade no número de Ações Mentais Matemáticas mobilizadas, o grupo que errou apresentou CV de cerca de 44,4%, evidenciando elevada heterogeneidade. Esse resultado sugere que, entre os estudantes com desempenho incorreto, há grande variação quanto às estratégias cognitivas empregadas, ao passo que os acertos se associam a um padrão mais consistente de mobilização das AMM.

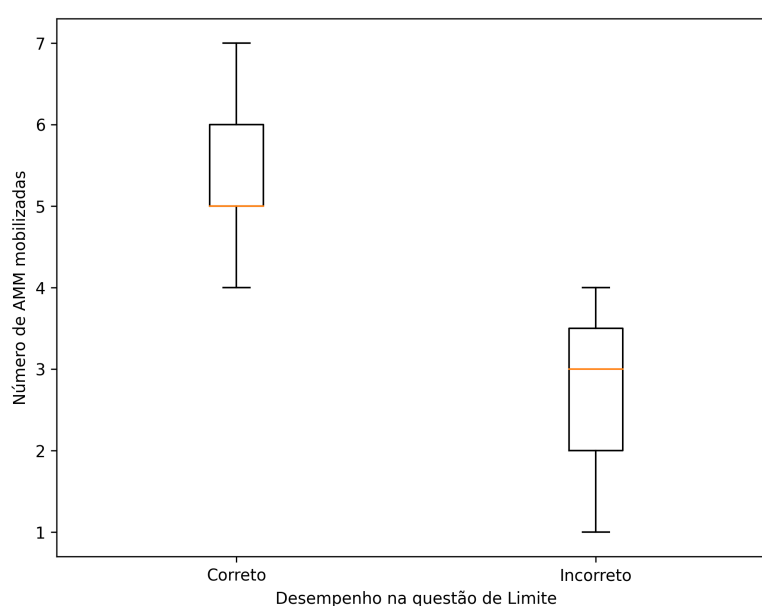
Do ponto de vista gráfico, essa diferença é evidenciada pelo boxplot que compara os dois grupos. No grupo dos estudantes que acertaram a questão, a mediana situa-se em 5 ações mentais, com a caixa concentrada entre 5 e 6 AMM e valores variando de 4 a 7, indicando um padrão de mobilização mais elevado e relativamente homogêneo. Já no grupo dos estudantes

que erraram, a mediana se aproxima de 3 ações mentais, com a caixa concentrada entre 2 e 4 AMM e valores variando de 1 a 4, o que revela um repertório de ações mais restrito.

Ao analisar de forma comparativa e articulada, a mediana mais elevada no grupo “Correto”, situada em cinco AMM, indica um padrão de mobilização mais consistente e homogêneo. Essa concentração sugere que os estudantes que obtiveram êxito tendem a articular um conjunto mais amplo e estável de AMM durante a resolução, revelando maior organização do raciocínio. Em contraste, o grupo “Incorreto” apresenta mediana inferior, próxima de três AMM. Esse comportamento gráfico aponta para um repertório mais restrito de ações mentais e uma maior heterogeneidade nas estratégias adotadas pelos estudantes que não alcançaram a solução correta. A presença de valores mais baixos nesse grupo indica que, em muitos casos, a resolução se limitou a poucas ações, possivelmente insuficientes para lidar com as demandas conceituais da questão de Limite.

Visualmente, destaca-se ainda que os valores mais elevados de AMM ocorrem exclusivamente no grupo “Correto”, não havendo sobreposição entre os máximos dos dois grupos. Esse aspecto reforça a associação entre a mobilização de um número maior de Ações Mentais Matemáticas e o êxito na tarefa, sugerindo que a resolução correta da questão está relacionada não apenas à presença de ações isoladas, mas à articulação de um conjunto mais amplo e integrado de ações mentais ao longo do processo de resolução

Gráfico 1: Distribuição da quantidade de Ações Mentais Matemáticas mobilizadas e o desempenho na questão de Limite



Fonte: Elaboração própria (2025)

4.1.2 Teste de normalidade de Shapiro - Wilk

Antes de proceder à comparação entre os grupos, foi verificada a adequação do uso de testes paramétricos por meio do teste de normalidade de Shapiro–Wilk (Shapiro; Wilk, 1965), aplicado separadamente às distribuições do número de AMM mobilizadas pelos estudantes que acertaram e pelos que erraram a questão

Os resultados indicaram violação do pressuposto de normalidade em ambos os grupos, como detalhado na tabela 2.

Tabela 2: Resultados do teste de normalidade de Shapiro–Wilk para o número de Ações Mentais Matemáticas mobilizadas por grupo de desempenho

Resolução	W	p-valor
Correta	0,84	$p \approx 0,008$
Incorreta	0,86	$p \approx 0,003$

Fonte: Elaborada pela autora com dados da pesquisa (2025)

Como os valores de p são inferiores a 0,05, rejeita-se a hipótese de normalidade em ambos os casos. Em consonância com o que foi estabelecido na metodologia, optou-se, portanto, pela utilização de um teste não paramétrico para comparar o número de AMM mobilizadas entre os dois grupos.

4.1.3 Teste de Mann–Whitney U

Para verificar se a diferença observada nas medidas descritivas é estatisticamente significativa, foi aplicado o teste de Mann–Whitney U, adequado à comparação de duas amostras independentes quando a suposição de normalidade não é atendida (Field, 2013).

O teste comparou o número de AMM mobilizadas pelos estudantes que acertaram a questão de limite ($n = 17$) e pelos que erraram ($n = 23$), resultando em uma estatística $U = 388,50$ com $p \approx 9,11 \times 10^{-8}$ ($p < 0,001$).

Esse valor de p extremamente baixo indica que a diferença entre os grupos é estatisticamente significativa ao nível de 5% e mesmo em níveis de significância mais rigorosos. Em outras palavras, é altamente improvável que a diferença observada no número de AMM mobilizadas seja fruto apenas de variações aleatórias da amostra.

Além do valor de p , calculou-se o tamanho de efeito a partir da estatística U , resultando em um coeficiente aproximado de $r \approx 0,83$, valor que, à luz dos critérios teóricos adotados neste estudo, é interpretado como um efeito de grande magnitude (Field, 2013). Isso significa que a associação entre o desempenho na questão e o número de ações mentais mobilizadas não é apenas estatisticamente significativa, mas também relevante do ponto de vista prático: estudantes que acertam tendem, de fato, a ativar substancialmente mais ações mentais do que aqueles que erram. A tabela 3 reúne os resultados da estatística inferencial.

Tabela 3: Resultados do teste de Mann–Whitney U para o número de Ações Mentais Matemáticas mobilizadas e o desempenho na questão de Limite

Grupos comparados	n	U	p-valor	Nível de significância	Tamanho do efeito (r)	Interpretação do efeito
Correto × Incorreto	17 × 23	388,50	$\approx 9,11 \times 10^{-8}$	$p < 0,001$	$\approx 0,83$	Efeito grande

Fonte: Elaborado pela autora, com base nos dados da pesquisa (2025) e em Field (2013)

Os resultados quantitativos permitiram identificar que estudantes que resolveram corretamente a questão mobilizaram, em média, um número significativamente maior de Ações Mentais Matemáticas, com distribuição concentrada entre 5 e 6 ações; enquanto estudantes que erraram a questão mobilizaram, em geral, entre 1 e 4 ações, com médias e medianas mais baixas e maior variabilidade.

O teste de Mann–Whitney U confirmou que essa diferença é estatisticamente significativa, com tamanho de efeito elevado, indicando forte associação entre o número de ações mentais mobilizadas e o êxito na resolução da questão de Limite. Em termos interpretativos, esses achados sugerem que não basta acionar uma ou duas ações isoladas: as resoluções bem sucedidas tendem a combinar e coordenar diversas AMM ao longo do

processo, o que dialoga com o referencial teórico do MTAMM e com a importância das Funções Executivas na organização do pensamento matemático.

Esses resultados numéricos servem, portanto, como ponto de partida para a análise qualitativa apresentada na seção seguinte, que buscou compreender como essas ações e mecanismos executivos se manifestam concretamente nas resoluções e nos relatos dos estudantes.

4.2 ANÁLISE QUALITATIVA

A análise qualitativa teve como objetivo aprofundar a compreensão de como as AMM e as Funções Executivas se manifestam na resolução da questão de Limite, tanto nas produções escritas quanto nos relatos dos estudantes. Diferentemente da etapa quantitativa, que se concentrou no número total de ações mobilizadas, aqui o foco recaiu sobre a qualidade das estratégias utilizadas, os modos de coordenação entre representações e os indícios de regulação executiva presentes nas resoluções e nas entrevistas.

4.2.1 Classificação do nível das Funções Executivas a partir das resoluções

Na primeira frente de análise, as resoluções dos 41 estudantes foram examinadas sob a ótica das Funções Executivas, tomando como referência o modelo de Miyake *et al.* (2000), as contribuições de Diamond (2013), de Dehaene (2011) e Ansari (2019). Com base nesses referenciais, foi elaborado um quadro de classificação (Apêndice A) que descreve indicadores de desempenho para três dimensões centrais: Memória de Trabalho, Controle Inibitório e Flexibilidade Cognitiva, em três níveis – Baixo, Médio e Alto. Essa classificação considerou como critérios essenciais:

(i) a capacidade de manter e coordenar informações relevantes ao longo das etapas de resolução (Memória de Trabalho);

(ii) a habilidade de evitar procedimentos automatizados inadequados, rever cálculos e abandonar respostas impulsivas e caminhos infrutíferos (Controle Inibitório);

(iii) a competência para mudar de estratégia, transitar entre registros algébricos e gráficos e reconfigurar a abordagem diante de inconsistências (Flexibilidade Cognitiva).

Embora o resultado final tenha sido expresso em categorias (“Baixo”, “Médio” e “Alto”), o procedimento adotado foi interpretativo, baseado na leitura qualitativa das resoluções à luz do MTAMM e das Funções Executivas, e não em cálculo estatístico.

De modo geral, as resoluções classificadas com Memória de Trabalho em nível Alto apresentaram encadeamento claro de etapas, com passos intermediários explícitos, uso consistente de propriedades algébricas e retomada coerente de informações do enunciado. Nessas produções, as AMM relativas a interpretar, representar, manipular algebricamente, simplificar e verificar apareciam de forma articulada, indicando que o estudante conseguia manter simultaneamente, em mente, o objetivo da tarefa, as transformações realizadas e o comportamento esperado da função.

Nos casos em que o Controle Inibitório foi classificado como Médio ou Alto, observou-se que o estudante evitava a aplicação mecânica de algoritmos e demonstrava disposição para revisar o próprio caminho quando surgiam inconsistências. Em várias resoluções, por exemplo, a tentativa inicial de substituição direta de $x=1$ era abandonada após a percepção de uma indeterminação; em seguida, o estudante recorria à fatoração, à simplificação algébrica ou à análise de limites laterais. Esse movimento revela a suspensão de respostas impulsivas e a busca deliberada por estratégias mais adequadas à natureza do problema, alinhando-se ao papel regulador descrito para o Controle Inibitório.

Já as resoluções classificadas com Flexibilidade Cognitiva elevada destacavam-se pela capacidade de transitar entre diferentes formas de representar a situação-problema: alguns estudantes combinaram manipulação algébrica com esboços gráficos ou argumentos verbais, usando representações complementares para conferir sentido ao resultado obtido. Em termos de AMM, emergiram ações como identificar, inferir e empregar propriedades dos números reais, frequentemente associadas a mudanças de abordagem quando a estratégia inicial não se mostrava suficiente. Esse padrão dialoga com a literatura que aproxima Flexibilidade Cognitiva e criatividade matemática, ao enfatizar a exploração de múltiplos caminhos de solução (Leikin; Katz, 2019).

Por outro lado, nas resoluções classificadas com níveis baixos de Memória de Trabalho e Flexibilidade Cognitiva, o padrão predominante foi o de procedimentos incompletos ou pouco organizados: substituições diretas sem análise das condições de existência do Limite, manipulações algébricas fragmentadas, ausência de verificação do resultado e pouca explicitação das relações entre as etapas. Nesses casos, o conjunto de AMM mobilizadas tendia a ser restrito, concentrando-se em ações como manipular algebricamente e

fazer operações com números reais, com pouca evidência de ações relacionadas à verificar ou inferir.

4.2.2 Entrevistas

A segunda frente da análise qualitativa concentrou-se nas três entrevistas semiestruturadas realizadas com estudantes que apresentaram resoluções contrastantes: dois participantes que obtiveram o resultado correto e um que não conseguiu resolver adequadamente a questão. As entrevistas foram analisadas com base em procedimentos da Análise Textual Discursiva (Moraes; Galiazzi, 2016), enfatizando a identificação de unidades de sentido relacionadas às AMM e às Funções Executivas.

De forma geral, os relatos dos estudantes que resolveram corretamente a questão evidenciaram um discurso marcado por planejamento e monitoramento do próprio raciocínio. Ao reconstruírem o que fizeram, esses participantes mencionaram explicitamente etapas como: interpretar o enunciado, reconhecer a estrutura de uma função racional, lembrar de procedimentos previamente estudados (como fatoração de polinômios, divisão de polinômios e simplificação de frações algébricas) e verificar se o resultado “fazia sentido” em relação ao comportamento da função. Em termos de AMM, apareceram com frequência ações como interpretar, representar, manipular algebricamente, simplificar, fazer operações com números reais e verificar.

Esses estudantes também descreveram o uso deliberado de recursos externos – por exemplo, retorno aos exercícios do caderno, consulta ao livro ou revisão de exemplos semelhantes – como forma de organizar a sequência de passos. Tais relatos sugerem um nível importante de consciência sobre o próprio processo de aprender, aproximando-se da perspectiva metacognitiva discutida na seção 1.

Já o estudante que não obteve o resultado correto apresentou um discurso qualitativamente diferente. Sua narração evidenciou maior ênfase na dificuldade de iniciar a resolução, na sensação de que a questão “exigia muito tempo” e na tendência a adiar o enfrentamento do problema. Ao relatar como tentou resolver, mencionou estratégias pouco estruturadas, uso pontual de “truques” vistos em vídeo-aulas e dificuldade em explicar o significado do limite para além da substituição de valores na expressão algébrica.

Do ponto de vista das Funções Executivas, esse discurso indica fragilidades especialmente na Memória de Trabalho (dificuldade em manter simultaneamente as condições

do problema, as propriedades do limite e os procedimentos já realizados) e na Flexibilidade Cognitiva (resistência a mudar de abordagem quando a estratégia inicial não conduz a nenhum resultado). O Controle Inibitório também aparece comprometido, na medida em que o estudante tende a insistir em procedimentos automáticos, mesmo diante de indícios de que não são adequados à situação.

Quando os dados das entrevistas são colocados em diálogo com a classificação das resoluções, observa-se uma coerência entre o nível de desenvolvimento das Funções Executivas inferido a partir das produções escritas e o modo como os estudantes narram o próprio raciocínio. Participantes cujas resoluções foram classificadas com Memória de Trabalho e Flexibilidade Cognitiva em níveis Médios ou Altos tendem a relatar processos mais planejados, com explicitação de ações como interpretar e verificar. Já o participante com classificação mais baixa nessas dimensões descreve um percurso marcado por tentativas pouco sistemáticas, dificuldades de reter as informações relevantes e menor capacidade de reorganizar o pensamento diante de obstáculos.

4.2.3 Articulação entre o nível das funções executivas e as narrativas dos estudantes

Com o intuito de articular os resultados obtidos nas resoluções com os discursos dos estudantes, elaborou-se um quadro-síntese (Quadro 5) relacionando a classificação das Funções Executivas, inferida a partir das produções escritas, com unidades de sentido extraídas das entrevistas. Esse procedimento permite aproximar os movimentos de categorização próprios da Análise de Conteúdo das operações de unitarização e reconstrução textual propostas pela Análise Textual Discursiva, evidenciando como Memória de Trabalho, o Controle Inibitório e a Flexibilidade Cognitiva se manifestam tanto no “fazer” quanto no “falar sobre o que foi feito”.

Quadro 5: Relação entre a classificação das Funções Executivas e unidades de sentido das entrevistas

Estudante	Desempenho na questão de Limite	Classificação do nível das funções executivas	Unidades de sentido destacadas nas entrevistas (AMM e FE)
1	Correto	<p>Memória de trabalho: Alta – coordena as etapas de fatoração e simplificação, mantendo o objetivo da tarefa.</p> <p>Controle inibitório: Alto – inibe a resposta imediata à indeterminação e busca outra estratégia.</p> <p>Flexibilidade cognitiva: Alta – transita entre diferentes procedimentos algébricos e justifica suas escolhas, como a explicação explícita das propriedades do Limite.</p>	<p>Relata que, ao ler o enunciado, primeiro percebeu que a substituição direta de $x=1$ conduzia a uma indeterminação e, por isso, decidiu “fazer manipulações algébricas” no numerador e no denominador, recorrendo à soma e produto para fatorar. Menciona que reescreveu a expressão, identificou o fator comum $(x-1)$, cancelou termos equivalentes e só então substituiu o valor de x. Nas falas, emergem AMM como interpretar, representar, manipular algebricamente, simplificar e verificar, articuladas a processos de planejamento, monitoramento e revisão do próprio raciocínio.</p>
2	Correto	<p>Memória de trabalho: Alta – mantém simultaneamente a condição de indeterminação e as propriedades de limite usadas na resolução.</p> <p>Controle inibitório: Alto – rejeita aceitar $0/0=0$ como resultado e abandona procedimentos inadequados.</p> <p>Flexibilidade cognitiva: Alta – muda de estratégia, passando da substituição direta à fatoração.</p>	<p>Explica que percebeu que “não dá para encontrar o valor direto porque dá $0/0$” e, diante disso, optou por fatorar o numerador e o denominador para “sair da indeterminação”. Após a simplificação, reconheceu que podia substituir o valor de x, chegando ao resultado e interpretando-o em termos do comportamento da função. As unidades de sentido evidenciam AMM como identificar, manipular algebricamente, simplificar, transpor informações e verificar, além de um monitoramento contínuo do processo, coerente com níveis elevados de controle executivo.</p>
3	Incorreto	<p>Memória de trabalho: Baixa – dificuldade em manter as informações relevantes e em recuperar procedimentos algébricos corretos.</p>	<p>Relata que, ao ver a questão, achou que ela “ia dar muito trabalho” e preferiu deixá-la para o final, indicando pouco planejamento e controle atencional. Disse não conseguir imaginar o gráfico que</p>

		<p>Controle inibitório: Baixo – aplica regras de simplificação de forma impulsiva, sem verificar sua validade.</p> <p>Flexibilidade cognitiva: Baixa – insiste em estratégias conhecidas mesmo quando tem consciência de que elas não funcionam.</p>	<p>representa a função e nem o que “limite” significa. Ao comentar a tentativa de resolução, menciona que tentou “cortar termos” imitando procedimentos vistos em outros exemplos, mas sem conseguir justificar conceitualmente o porquê. As falas revelam uso restrito de AMM como manipular algebricamente e fazer operações com números reais, com pouca referência a interpretar, transpor informações, representar ou verificar. Também aparecem poucos sinais de mudança de estratégia, reforçando a classificação de memória de trabalho, controle inibitório e flexibilidade cognitiva em níveis baixos.</p>
--	--	--	--

Fonte: Elaboração própria (2025) com base em Miyake et al. (2000), Diamond (2013) e Alvarenga; Domingos (2020)

Como é possível observar, há uma grande coerência entre a classificação das Funções Executivas atribuída às resoluções e a forma como os estudantes narram seus processos de pensamento. Nos casos dos estudantes 1 e 2, que resolveram corretamente a questão, a combinação de Memória de Trabalho, Controle Inibitório e Flexibilidade Cognitiva em níveis altos se reflete em discursos marcados por planejamento, explicitação de etapas, revisão de procedimentos e verificação consciente do resultado. Já no caso do estudante 3, cuja resolução foi incorreta, os níveis baixos dessas funções se manifestam em narrativas que enfatizam dificuldades para iniciar a tarefa, dependência de procedimentos pouco justificados e ausência de novas estratégias diante de impasses.

Esse quadro reforça a ideia de que o êxito na resolução da questão de Limite não depende apenas da mobilização de determinadas Ações Mentais Matemáticas, mas da qualidade do controle executivo que as organiza e coordena. Ao integrar o que os estudantes fazem em suas resoluções com o que dizem sobre o próprio raciocínio, a análise qualitativa evidencia a articulação entre MTAMM e Funções Executivas, sugerindo um eixo central para compreender o desempenho em tarefas complexas, como as que envolvem o conceito de Limite.

4.3 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS

A integração dos resultados tem por objetivo colocar em diálogo os achados quantitativos e qualitativos, articulando-os ao quadro teórico do MTAMM e das Funções Executivas e às questões de pesquisa formuladas por este estudo

Do ponto de vista quantitativo, os resultados mostraram uma diferença clara e estatisticamente significativa entre os grupos. Os estudantes que resolveram corretamente a questão mobilizaram, em média, um número maior de AMM do que aqueles que não obtiveram o resultado correto, com distribuições praticamente não sobrepostas. O teste de Mann–Whitney indicou diferença significativa entre os grupos, associada a um tamanho de efeito elevado, sugerindo uma relação forte entre o desempenho e a quantidade de AMM ativadas na resolução. Em termos gerais, as resoluções corretas caracterizam-se por envolver um repertório mais amplo de ações, ao passo que as resoluções incorretas tendem a restringir-se à mobilização de poucas AMM, geralmente relacionadas a operações aritméticas ou manipulações algébricas.

A análise qualitativa das resoluções, por sua vez, acrescenta nuances importantes a esse quadro. Ao classificar Memória de Trabalho, Controle Inibitório e Flexibilidade Cognitiva em níveis Baixo, Médio e Alto, foi possível observar que as resoluções com maior número de AMM geralmente correspondem também a níveis mais elevados de Funções Executivas. Não se trata apenas de uma quantidade maior de ações, mas ações melhor encadeadas e distribuídas ao longo da resolução de modo coerente com o objetivo da tarefa. As produções com Memória de Trabalho e Flexibilidade Cognitiva em níveis altos tendem a explicitar etapas intermediárias, retomar informações do enunciado, articular diferentes representações e revisar o resultado, enquanto resoluções com classificações baixas nessas dimensões revelam estratégias fragmentadas, sem verificação e com pouca reorganização diante de inconsistências.

As entrevistas aprofundam essa interpretação ao revelar como os estudantes percebem e narram o próprio raciocínio. Nos casos em que a questão foi resolvida corretamente, os relatos evidenciam planejamento, uso deliberado de estratégias, consciência de que a indeterminação exige mudança de procedimento e preocupação em conferir se o resultado “faz sentido” em termos do comportamento da função. Nos discursos, aparecem espontaneamente elementos que, no MTAMM, correspondem a ações como interpretar, representar, transpor informações e verificar, acompanhadas de indícios de monitoramento e ajuste de estratégias, típicos de Funções Executivas mais desenvolvidas. Já no caso em que a

resolução foi incorreta, predomina a dificuldade em explicar o caminho percorrido, a tendência a evitar a questão, o uso de recursos pouco compreendidos (decorados) e a ausência de reorganização do pensamento quando a estratégia inicial falha. Todos esses aspectos são coerentes com níveis mais baixos de Memória de Trabalho, Controle Inibitório e Flexibilidade Cognitiva.

Quando todas as análises são consideradas em conjunto, emergem alguns pontos de convergência. Em primeiro lugar, os resultados quantitativos confirmam que mobilizar um maior número de AMM está fortemente associado ao acerto, enquanto os resultados qualitativos mostram que esse maior repertório de ações costuma vir acompanhado de um controle executivo mais sofisticado. Em segundo lugar, a análise das entrevistas sugere que, nos casos de êxito, os estudantes não apenas executam mais ações, mas demonstram maior consciência sobre o que fazem, por que o fazem e quando precisam mudar de estratégia, aproximando-se da concepção de metacognição discutida anteriormente. Em terceiro lugar, o quadro que relaciona a classificação das Funções Executivas às unidades de sentido das entrevistas indica que há coerência entre o modo como os estudantes resolvem a questão e o modo como narram esse processo, reforçando a articulação entre cognição, metacognição e Funções Executivas.

O quadro a seguir (Quadro 6) retrata um estudante que apresentou forte coerência entre o fazer matemático e o dizer sobre esse fazer. Ele mobiliza um conjunto amplo e articulado de Ações Mentais Matemáticas, reguladas por Funções Executivas bem desenvolvidas. A entrevista confirma que as escolhas observadas na resolução não são casuais, mas sustentadas por compreensão conceitual, automatizações conscientes e autorregulação metacognitiva, reforçando a integração teórica entre MTAMM e Funções Executivas proposta neste estudo.

Quadro 6: Articulação entre a resolução escrita e discurso do estudante A na perspectiva do MTAMM e das Funções Executivas

Evidência na resolução escrita	Trecho da entrevista	Ações Mentais Matemáticas (MTAMM)	Funções Executivas (FE)	Análise integrada (resolução–discurso)
Reconhecimento imediato da forma indeterminada ao substituir $x=1$	<i>“se eu substituir o número 1... eu chego a uma indeterminação de 0 sobre 0”</i>	Identificar	Controle Inibitório	O estudante demonstra monitoramento precoce da coerência do

				procedimento, identificando que a substituição direta não é adequada. O discurso confirma a leitura correta da situação-problema antes da manipulação algébrica.
Fatoração correta do numerador e do denominador	<i>“antes de aplicar a resolução do limite... eu preciso fazer algumas manipulações algébricas”</i>	Manipular algebricamente	Controle Inibitório e Planejamento	A decisão de fatorar evidencia planejamento da sequência de ações e inibição da resposta automática (substituição direta), coerente com FE bem reguladas.
Uso de soma e produto sem rascunhos intermediários	<i>“eu faço direto... quando são esses números menores eu não faço conta nenhuma”</i>	Representar	Memória de Trabalho	A resolução fluida e a ausência de rascunhos indicam procedimentos automatizados, mas ainda regulados conscientemente, liberando recursos da Memória de Trabalho.
Simplificação do fator comum $\frac{(x-1)}{(x-1)}$	<i>“nós temos um termo em comum tanto no numerador quanto no denominador... consigo cancelar esses termos”</i>	Simplificar	Flexibilidade cognitiva	O estudante coordena representações algébricas e reconhece estruturas equivalentes, ajustando a expressão para viabilizar o cálculo do limite.
Manutenção da notação de	<i>“o professor reforçou muito</i>	Representar, Utilizar	Monitoramento e	A escrita formal não é mecânica,

Limite em todas as etapas da resolução	<i>isso... eu achei necessário escrever para demonstrar que eu sabia o que eu estava fazendo”</i>	linguagem matemática adequada	Autorregulação	mas deliberada. O estudante monitora a clareza e a legitimidade matemática do procedimento, alinhando forma e conteúdo.
Aplicação correta das propriedades de Limite	<i>“limite de uma constante é a própria constante... limite de x quando x tende a 1 é 1”</i>	Empregar propriedades dos números reais	Memória de trabalho	A estudante mantém simultaneamente regras, valores e operações, articulando-as corretamente até a obtenção do resultado final.
Resultado final coerente $-\frac{5}{2}$	<i>“à medida que eu me aproximo de um, a expressão... tá se aproximando de menos cinco meios”</i>	Verificar	Monitoramento executivo	Há convergência entre o resultado algébrico e a interpretação conceitual do limite, indicando fechamento cognitivo consistente.

Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa (2025)

Já o seguinte quadro (Quadro 7) evidencia tensões significativas entre a execução algébrica e a compreensão conceitual. Embora algumas Ações Mentais Matemáticas estejam presentes — especialmente manipular algebricamente e fazer operações com números reais — elas se mostram pouco coordenadas e reguladas pelas Funções Executivas, sobretudo no que se refere ao Controle Inibitório — e também ao planejamento e monitoramento metacognitivo — embora funções analisadas secundariamente neste estudo. A entrevista revela que muitas decisões tomadas na resolução foram guiadas por lembrança vaga de procedimentos observados e por tentativa e erro, sem sustentação conceitual sólida. A ausência de interpretação do resultado e a dificuldade em transitar para representações gráficas reforçam a fragilidade na articulação entre ações mentais e regulação executiva, contrastando com o padrão observado em resoluções corretas e conceitualmente consistentes.

Quadro 7: Articulação entre a resolução escrita e discurso do estudante B na perspectiva do MTAMM e das Funções Executivas

Evidência na resolução escrita	Trecho da entrevista	Ações Mentais Matemáticas (MTAMM)	Funções Executivas (FE)	Análise integrada (resolução–discurso)
Adiamento inicial da resolução da questão	<i>“Provavelmente o que eu devo ter feito, era visto que ia dar muito trabalho então eu deixei de lado e fui fazer outra”</i>	—	Planejamento deficitário	O discurso indica dificuldade inicial de planejamento, com evitação da tarefa percebida como complexa, sugerindo fragilidade no controle executivo diante de demandas cognitivas elevadas.
Tentativa de eliminar termo comum por manipulação algébrica	<i>“no lugar do 5 coloquei um 8 menos 3, que eu queria cortar esse x menos 3”</i>	Manipular algebricamente (com erro)	Flexibilidade cognitiva Baixa	Há tentativa de adaptação algébrica para viabilizar a simplificação, mas sem clareza conceitual do procedimento, indicando flexibilidade baseada em tentativa, não em compreensão estruturada.
Fatoração sem rascunhos visíveis na resolução	<i>“foi justamente porque eu já tinha visto num vídeo... eu não precisei fazer rascunho”</i>	Fazer operações com números reais (com erro)	Dependência de memória episódica	A fatoração não emerge de planejamento conceitual, mas da lembrança de um procedimento externo, o que sugere mobilização frágil da memória de trabalho.
Simplificação de fator comum sem justificativa formal	<i>“eu já tinha visto algumas vezes, algumas pessoas fazendo isso”</i>	Simplificar (com erro)	Controle Inibitório Baixo	O estudante aplica um procedimento observado anteriormente sem avaliar plenamente

				sua adequação conceitual ao contexto, indicando dificuldade em inibir estratégias imitativas não compreendidas.
Obtenção de um valor numérico final	<i>“eu encontrei um resultado aí de três quartos”</i>	—	Monitoramento limitado	Embora chegue a um resultado, não há evidência de verificação conceitual ou validação do significado do valor encontrado.
Incapacidade de atribuir significado ao resultado	<i>“não, não sei não”</i> (quando perguntado sobre o significado do resultado 3/4 dentro do conceito de Limite)	Ausência das ações Interpretar / Verificar	Déficit de monitoramento metacognitivo	Há ruptura entre o cálculo e a compreensão conceitual do limite, evidenciando baixa regulação metacognitiva.
Dificuldade de imaginar o comportamento gráfico	<i>“não consigo imaginar esse gráfico”</i>	Incapacidade de mobilizar ações como Representar e Graficar	Baixa Flexibilidade Cognitiva	A impossibilidade de transitar entre os registros algébrico e gráfico confirma a fragilidade na coordenação de representações.

Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa (2025)

A análise integrada das resoluções e das entrevistas evidencia que o desempenho na questão de Limite não depende apenas da execução de procedimentos algébricos, mas da articulação consistente entre Ações Mentais Matemáticas e mecanismos de regulação executiva. As diferenças observadas entre os estudantes analisados reforçam a importância das Funções Executivas primárias, mas também do controle, do monitoramento, do planejamento e da organização do raciocínio matemático. Na seção seguinte, essas evidências são retomadas para discutir as implicações pedagógicas do estudo, bem como suas contribuições e limitações.

CONSIDERAÇÕES

Tradicionalmente, o Cálculo tem sido ensinado a partir de uma abordagem predominantemente procedimental, na qual se privilegia a aplicação de algoritmos e regras operatórias. Embora esse modelo possa ser eficiente para o treino técnico, ele tende a limitar o desenvolvimento da compreensão conceitual, pois muitos estudantes aprendem a resolver exercícios sem necessariamente compreender os fundamentos conceituais que os sustentam (Skemp, 1987).

A integração entre o MTAMM e as Funções Executivas permite interpretar o ensino de Cálculo como um exercício sistemático de controle mental. Resolver problemas de Limite, por exemplo, demanda Memória de Trabalho para manter e manipular informações (condições, valores, representações), Controle Inibitório para evitar inferências precipitadas ou a aplicação mecânica de regras sem verificar o contexto e Flexibilidade Cognitiva para transitar entre registros gráfico, simbólico, numérico e verbal (Duval, 2003; Diamond, 2013). Nesse cenário, a ênfase desloca-se de “ensinar o algoritmo correto” para criar condições em que os estudantes mobilizem e regulem ações mentais, a fim de construir significado para o conceito de Limite.

Em contextos escolares, as Funções Executivas podem ser estimuladas por meio de tarefas que exigem planejamento, revisão e adaptação de estratégias, dimensões estreitamente relacionadas às Ações Mentais Matemáticas. Atividades que incentivam a reflexão, a análise de erros e a comparação de soluções favorecem simultaneamente o desenvolvimento do raciocínio matemático e o fortalecimento das Funções Executivas (Fonseca; Boruchovitch, 2021). A seguir, destacam-se algumas possibilidades didáticas coerentes com essa perspectiva:

a) Exploração de múltiplas representações: apresentar um mesmo conceito de Cálculo, como o de Limite, em diferentes registros – gráfico, simbólico, numérico e verbal – conforme propõe Duval (2003). A alternância entre registros estimula a coordenação de representações, mobilizando ações mentais como representar, interpretar e generalizar, ao mesmo tempo em que exige Flexibilidade Cognitiva para transitar entre diferentes modos de pensar o mesmo objeto.

b) Atividades de previsão e verificação: solicitar que os estudantes antecipem o comportamento de uma função antes de calcular formalmente um Limite, para depois confrontar a previsão com o resultado obtido. Esse tipo de tarefa estimula o uso da Memória de Trabalho e do monitoramento metacognitivo, pois exige que o estudante mantenha

hipóteses em mente, compare-as com os resultados e avalie a plausibilidade de suas conclusões.

c) Discussões metacognitivas em grupo: promover momentos em que os estudantes explicitem e comparem suas estratégias de resolução, comentando como pensaram, que ações mobilizaram e por que escolheram determinado caminho. A verbalização do próprio raciocínio favorece a tomada de consciência sobre as ações mentais utilizadas e fortalece processos de autorregulação, em consonância com a perspectiva de pensamento matemático reflexivo discutida por Schoenfeld (1992).

d) Problemas abertos e de múltiplas soluções: propor tarefas que admitam diferentes abordagens e caminhos de resolução, incentivando que os estudantes busquem mais de uma forma de justificar suas respostas. Esse tipo de atividade estimula o pensamento divergente e a criatividade matemática (Leikin; Katz, 2019), aproximando a resolução de problemas da dinâmica da flexibilidade executiva, na medida em que exige considerar alternativas, comparar estratégias e reorganizar o raciocínio.

e) Reflexão sistemática sobre erros: tratar o erro como oportunidade de aprendizagem, promovendo momentos específicos para discutir onde e por que determinada estratégia falhou, que ações mentais não foram mobilizadas e quais poderiam ter sido alternativas mais adequadas. Esse tipo de análise ativa o monitoramento, o Controle Inibitório e a revisão de estratégias, reforçando o ciclo autorregulatório das Funções Executivas (Diamond; Lee, 2011).

Os resultados deste estudo sugerem que o pensamento matemático é um processo autorregulado, sustentado por mecanismos executivos que coordenam a mobilização das Ações Mentais Matemáticas. O estudante que compreende o conceito de Limite não é aquele que apenas aplica regras, mas aquele que controla conscientemente o próprio raciocínio, revisa hipóteses e reorganiza estratégias quando necessário. Essa capacidade representa a síntese entre cognição e metacognição, que parece ser uma dimensão essencial da aprendizagem matemática.

Embora o estudo tenha alcançado seus objetivos, algumas limitações devem ser reconhecidas. A amostra, restrita a uma turma de Cálculo Diferencial, limita a generalização dos resultados, assim como um único tipo de questão, relativo a uma função racional com indeterminação. Além disso, a classificação em níveis das Funções Executivas baseou-se em indicadores observacionais e discursivos. Futuras pesquisas poderiam combinar ressonância magnética funcional com testes neuropsicológicos específicos com análises qualitativas em profundidade, ampliando a validade dos achados.

Sugere-se, também, a realização de estudos longitudinais para investigar como as AMM e as FE evoluem ao longo do tempo e de diferentes disciplinas matemáticas, bem como pesquisas intervencionistas, que avaliem o impacto de estratégias pedagógicas baseadas na metacognição e no controle executivo – como as que foram sugeridas anteriormente – sobre o desempenho em Matemática.

Diante dos elementos supracitados e das inferências discutidas, esta pesquisa contribui para o campo da Educação Matemática e da Neuroeducação ao propor uma leitura integrada do raciocínio matemático como o processo cognitivo-executivo. O Modelo Teórico das Ações Mentais Matemáticas (MTAMM), articulado às Funções Executivas, oferece uma estrutura consistente para compreender como os estudantes constroem e regulam o conhecimento matemático. Ao reconhecer que pensar matematicamente é também um ato de autorregulação mental, o ensino de Cálculo pode ser ressignificado como um espaço de desenvolvimento da mente reflexiva, uma educação matemática que, mais do que ensinar a calcular, ensina a pensar.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, K. B. **Contribuições das neurociências para a educação matemática**. In: Congresso Virtual Iberoamericano sobre formación de profesores de matemática, ciencias tecnologia (COVIBE). Natal/RN, 2018.
- ALVARENGA, K. B. **Neurociência cognitiva e matemática**. In: PINA NEVES, R. S.; DORR, R. C. (org.). **Cenários de pesquisa em educação matemática**. Jundiaí: Paco Editorial, 2020..
- ALVARENGA, K. B.; DOMINGOS, A **Ressignificação do pensamento matemático avançado**. Relatório de pós-doutorado, 2020 (não publicado).
- ANSARI, D. Effects of development and enculturation on number representation in the brain. **Nature Reviews Neuroscience**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 278-291, 2008.
- ANSARI, D. Neurocognitive approaches to developmental disorders of numerical and mathematical cognition: the perils of neglecting the role of development. **Learning and Individual Differences**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 123-129, 2012.
- ANSARI, D. How brains learn mathematics: implications for education and brain science. **Mind, Brain and Education**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 152-161, 2019.
- ASHBY, F. G.; TURNER, B. O.; HORVITZ, J. C. Cortical and basal ganglia contributions to habit learning and automaticity. **Trends in Cognitive Sciences**, [s. l.], v. 14, n. 5, p. 208-215, 2010.
- BADDELEY, A. D. The episodic buffer: a new component of working memory? **Trends in Cognitive Sciences**, [s. l.], v. 4, n. 11, p. 417-423, 2000.
- BADDELEY, A. D. Working memory: theories, models, and controversies. **Annual Review of Psychology**, [s. l.], v. 63, p. 1-29, 2012.
- BARBOSA, M. A.; LIMA, E. R. P. **Educação matemática, ensino e aprendizagem: uma proposta de intervenção**. Recife: UFPE, 2019.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BLAIR, C.; RAZZA, R. P. Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. **Child Development**, [s. l.], v. 78, n. 2, p. 647-663, 2007.
- BOTVINICK, M. M.; BRAVER, T. S.; BARCH, D. M.; CARTER, C. S.; COHEN, J. D. Conflict monitoring and cognitive control. **Psychological Review**, [s. l.], v. 108, n. 3, p. 624-652, 2001.

BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016. Dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 maio 2016.

BROWN, A. L. Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. In: WEINERT, F. E.; KLUWE, R. H. (ed.). **Metacognition, motivation, and understanding**. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1987. p. 65-116.

BULL, R.; SCERIF, G. Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: inhibition, switching, and working memory. **Developmental Neuropsychology**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 273-293, 2001.

CARVALHO, A. A.; LIMA, B. B. **Cognição e aprendizagem matemática: fundamentos e práticas pedagógicas**. São Paulo: Cortez, 2019.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2. ed. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1988.

CORNU, B. Limits: processes and representations. **Educational Studies in Mathematics**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 317-327, 1991.

CRESWELL, J. W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens**. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2014.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2021.

CRESWELL, J. W.; PLANO CLARK, V. L. **Designing and conducting mixed methods research**. 2. ed. Thousand Oaks: SAGE, 2011.

CRESWELL, J. W.; PLANO CLARK, V. L. **Pesquisa de métodos mistos**. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2018.

CRESWELL, J. W.; PLANO CLARK, V. L. **Pesquisa de métodos mistos**. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2021.

DEHAENE, S.; PIAZZA, M.; PINEL, P.; COHEN, L. Three parietal circuits for number processing. **Cognitive Neuropsychology**, [s. l.], v. 20, n. 3-6, p. 487-506, 2003.

DEHAENE, S. **The number sense: how the mind creates mathematics**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 2011.

DEHAENE, S. **É assim que aprendemos: por que o cérebro funciona melhor do que qualquer máquina (ainda)**. São Paulo: Contexto, 2022.

DIAMOND, A. Executive functions. **Annual Review of Psychology**, [s. l.], v. 64, p. 135-168, 2013.

DIAMOND, A.; LEE, K. Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. **Science**, [s. l.], v. 333, n. 6045, p. 959-964, 2011.

DREYFUS, T. Advanced mathematical thinking processes. In: TALL, D. (ed.). **Advanced mathematical thinking**. Dordrecht: Kluwer, 1991. p. 25-41.

DUBINSKY, E. Reflective abstraction in advanced mathematical thinking. In: TALL, D. (ed.). **Advanced mathematical thinking**. Dordrecht: Kluwer, 1991.

DUBINSKY, E. APOS: a constructivist theory of learning. In: HOLTON, D. A. (ed.). **The teaching and learning of mathematics at university level: an ICMI study**. Dordrecht: Kluwer, 2000.

DUBINSKY, E.; MCDONALD, M. A. APOS: a constructivist theory of learning in undergraduate mathematics education research. In: HOLTON, D. (ed.). **The teaching and learning of mathematics at university level**. Dordrecht: Kluwer, 2001.

DUVAL, R. Registros de representações semióticas e funcionamento cognitivo do pensamento. In: MACHADO, S. D. A. (org.). **Aprendizagem em matemática: registros de representação semiótica**. Campinas: Papyrus, 2003.

FIELD, A. **Discovering statistics using IBM SPSS statistics**. 5. ed. London: SAGE Publications, 2013.

FLAVELL, J. H. Metacognition and cognitive monitoring: a new area of cognitive–developmental inquiry. **American Psychologist**, [s. l.], v. 34, n. 10, p. 906-911, 1979.

FONSECA, L.; BORUCHOVITCH, E. Funções executivas e autorregulação da aprendizagem: interfaces com o desempenho escolar. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, Brasília, v. 37, e37547, 2021.

GONÇALVES, D. P. **Um Estudo Sobre Ações Mentais Matemáticas, Memória E Atenção Na Resolução De Inequações Polinomiais Do 1o E 2o Graus**. 2025. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional – PROFMAT) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2025.

GRABNER, R. H.; ANSARI, D.; KOSCHUTNIG, K.; REISHOFER, G.; EBNER, F.; NEUPER, C. To retrieve or to calculate? Left angular gyrus mediates the retrieval of arithmetic facts during problem solving. **Neuropsychologia**, [s. l.], v. 47, n. 2, p. 604-608, 2009.

GRAYBIEL, A. M. Habits, rituals, and the evaluative brain. **Annual Review of Neuroscience**, [s. l.], v. 31, p. 359-387, 2008.

HOLROYD, C. B.; COLES, M. G. H. The neural basis of human error processing: reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. **Psychological Review**, [s. l.], v. 109, n. 4, p. 679-709, 2002.

ITO, M. Control of mental activities by internal models in the cerebellum. **Nature Reviews Neuroscience**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 304-313, 2008.

JAMOVI PROJECT. **Jamovi** (Versão 2.5). [S. l.]: The Jamovi Project, 2023. Disponível em: <https://www.jamovi.org>. Acesso em: 10 out. 2025.

LEIKIN, R.; KOICHTU, B.; BERMAN, A.; DINUR, S. Exploring mathematical creativity in school children. **Journal of Mathematical Behavior**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 20-30, 2013.

LEIKIN, R.; KATZ, B. **Mathematical creativity and giftedness**: enhancing creative thinking in the classroom. Cham: Springer, 2019.

LEIKIN, R.; LAVICZA, Z.; KOSOLAPOV, A. Mathematical creativity in school students. **ZDM Mathematics Education**, [s. l.], v. 41, n. 1-2, p. 45-57, 2009.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios?** Conceitos fundamentais de neurociência. 2. ed. São Paulo, SP: Atheneu, 2010. xxvi, 769 p. + CD-ROM ISBN 9788538801023 (enc.).

MENON, V. Memory and cognitive control circuits in mathematical cognition and learning. **Progress in Brain Research**, [s. l.], v. 227, p. 159-186, 2016.

MILLER, E. K.; COHEN, J. D. An integrative theory of prefrontal cortex function. **Annual Review of Neuroscience**, [s. l.], v. 24, p. 167-202, 2001.

MIYAKE, A.; FRIEDMAN, N. P.; EMERSON, M. J.; WITZKI, A. H.; HOWERTER, A.; WAGER, T. D. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: a latent variable analysis. **Cognitive Psychology**, [s. l.], v. 41, n. 1, p. 49-100, 2000.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise textual discursiva**. 3. ed. Ijuí: Unijuí, 2016.

PEIXOTO, E.; ALVARENGA, K. B. Ações mentais matemáticas e desenvolvimento do pensamento matemático. In: Anais do **X ENAPEM** – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação Matemática. São Paulo: SBEM, 2024 (no prelo).

PIAGET, J. **A equilibração das estruturas cognitivas**: problema central do desenvolvimento. Rio de Janeiro: Zahar, 1977.

REZENDE, W. M. O ensino de Cálculo: dificuldades de natureza epistemológica. 2003. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

RIDDERINKHOF, K. R.; ULLSPERGER, M.; CRONE, E. A.; NIEUWENHUIS, S. The role of the medial frontal cortex in cognitive control. **Science**, [s. l.], v. 306, n. 5695, p. 443-447, 2004.

SAMPAIO, S. M. R.; GUIMARÃES, J. F. C. Evasão e retenção no ensino superior brasileiro: uma análise dos dados do INEP. **Revista Brasileira de Ensino Superior**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 53-71, 2020.

SCHOENFELD, A. H. Learning to think mathematically: problem solving, metacognition, and sense making in mathematics. In: GROUWS, D. A. (ed.). **Handbook of research on mathematics teaching and learning**. New York: Macmillan, 1992.

SCHRAW, G.; MOSHMAN, D. Metacognitive theories. **Educational Psychology Review**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 351-371, 1995.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, [s. l.], v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.

SILVA, G. P.; VELOSO, T. C. M. A. Retenção e evasão em cursos de graduação: reflexões a partir de dados do ensino superior brasileiro. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, v. 94, n. 237, p. 620-638, 2013.

SKEMP, R. R. Relational understanding and instrumental understanding. **Mathematics Teaching**, [s. l.], n. 77, p. 20-26, 1976.

SKEMP, R. R. **The psychology of learning mathematics**. Harmondsworth: Penguin Books, 1987.

STERNBERG, R. J.; STERNBERG, K. **Psicologia cognitiva**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

STOODLEY, C. J.; SCHMAHMANN, J. D. Evidence for topographic organization in the cerebellum of motor control versus cognitive and affective processing. **Cortex**, [s. l.], v. 46, n. 7, p. 831-844, 2010.

TALL, D. Students' difficulties in calculus. In: TALL, D. (ed.). **Advanced mathematical thinking**. Dordrecht: Kluwer, 1993.

TALL, D. Introducing three worlds of mathematics. **For the Learning of Mathematics**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 29-33, 2004.

TALL, D. **How humans learn to think mathematically**: exploring the three worlds of mathematics. New York: Cambridge University Press, 2013.

TINTO, V. Classrooms as communities: exploring the educational character of student persistence. **The Journal of Higher Education**, [s. l.], v. 68, n. 6, p. 599-623, 1997.

APÊNDICE A – Classificação dos níveis de Funções Executivas e identificação das Ações Mentais Matemáticas mobilizadas pelos estudantes

Estudante	Descrição da Resolução	Ações Mentais Identificadas (MTAMM)	Quantidade de AMM mobilizadas	Análise Cognitiva (Funções Executivas)	Resultado
1	<p>1. Reescreve o limite com os polinômios já fatorados (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Simplifica o termo comum $(x-1)$.</p> <p>3. Substitui $x=1$ na expressão simplificada e apresenta o resultado correto.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 51) Verificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	5	<p>Memória de Trabalho: Alta. Eficiente para recuperar e aplicar regras de fatoração e realizar o cálculo final.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. Demonstrou flexibilidade ao empregar a fatoração, estratégia adequada para a indeterminação.</p> <p>Controle Inibitório: Alto. Inibiu a resposta ao "0/0" e identificou a raiz do problema.</p>	Correto
2	<p>1. Fatora ambos os polinômios utilizando divisão por $(x-1)$. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Reescreve o limite com as formas fatoradas e simplifica.</p> <p>3. Utilizou a propriedade de limite do quociente.</p> <p>4. Substitui $x=1$ na expressão resultante e encontra o resultado correto.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 16) Empregar propriedades dos números reais</p> <p>- (AM 51) Verificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	6	<p>Memória de Trabalho: Alta, gerenciando um algoritmo complexo de divisão de polinômios.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. Eficiente ao escolher realizar a divisão de polinômios.</p> <p>Controle Inibitório: Alta. Inibiu a resposta ao "0/0" e identificou a raiz do problema.</p>	Correto

3	<p>1. Fatora ambos os polinômios. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Reescreve o limite, simplifica.</p> <p>3. Utilizou a propriedade de limite do quociente.</p> <p>4. Substitui $x=1$ e chega ao resultado correto.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 16) Empregar propriedades dos números reais</p> <p>- (AM 51) Verificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	6	<p>Memória de Trabalho: Alta. Boa gestão dos procedimentos de fatoração e aplicação de propriedades do limite.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. Estratégia bem-sucedida de fatoração.</p> <p>Controle Inibitório: Alto. Inibiu a resposta ao "0/0" e identificou a raiz do problema.</p>	Correto
4	<p>1. Tenta substituir $x=1$ na expressão.</p> <p>2. Indica que o resultado é uma indeterminação ("ind.").</p> <p>3. Pára a resolução nesse ponto.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	2	<p>Memória de Trabalho: Baixa. Coordenação baixa entre os procedimentos.</p> <p>Controle Inibitório: Médio. A estudante reconheceu a indeterminação como um estado intermediário.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. Não conseguiu alternar para uma nova estratégia após identificar o impasse.</p>	Incorreto
5	<p>1. Mostra o cálculo da divisão de ambos os polinômios por $(x-1)$. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Reescreve o limite,</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43)</p>	5	<p>Memória de Trabalho: Alta, executando corretamente o algoritmo da divisão de polinômios duas vezes.</p>	Correto

	<p>simplifica os termos.</p> <p>3. Substitui o valor de x e encontra o resultado correto.</p>	<p>Simplificar - (AM 51) Verificar - (AM 23) Fazer operações com números reais</p>		<p>Controle Inibitório: Alto. A escolha da divisão por $(x-1)$ demonstra que a indeterminação foi um gatilho para recorrer à divisão de polinômios.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. Repertório sólido que permitiu a mudança de abordagem.</p>	
6	<p>1. Tenta realizar uma fatoração incorreta, colocando um "x" em evidência. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Cancela o "x" de forma incorreta.</p> <p>3. A resolução é interrompida.</p>	<p>- (AM 30) Identificar - (AM 35) Manipular Algebricamente (tentativa) - (AM 43) Simplificar (tentativa incorreta)</p>	3	<p>Memória de Trabalho: Baixa. Dificuldade em recuperar a regra correta de fatoração, aplicando-a de forma equivocada.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. Limitação na mudança de estratégia.</p> <p>Controle inibitório: Baixo. Abandono da resolução.</p>	Incorreto
7	<p>1. Identifica a indeterminação "0/0".</p> <p>2. Tenta fatorar ambos os polinômios, mas a fatoração do denominador está incorreta.</p> <p>3. Procede com o erro e calcula um resultado final incorreto.</p> <p>4. Notação errada de limite.</p>	<p>- (AM 30) Identificar - (AM 35) Manipular Algebricamente - (AM 43) Simplificar (baseado em erro)</p>	3	<p>Controle Inibitório: Médio, identificou a indeterminação, embora sem sucesso na etapa posterior.</p> <p>Memória de Trabalho: Baixo. Sobrecarga ou falha na recuperação de informação, cometendo erro na fatoração.</p> <p>Flexibilidade cognitiva: Baixo.</p>	Incorreto

8	<p>1. Identifica a indeterminação "0/0".</p> <p>2. Tenta fatorar, mas os fatores apresentados não correspondem aos polinômios.</p> <p>3. Realiza cálculos com base nos fatores incorretos.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente (tentativa)</p> <p>- (AM 43) Simplificar (baseado em erro)</p>	3	<p>Controle Inibitório: Médio, tentou sair da indeterminação sem sucesso.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Baixo. Tentou mudar de estratégia, mas não conseguiu executar a fatoração corretamente.</p> <p>Memória de Trabalho: Baixa. Falha na coordenação dos métodos de fatoração.</p>	Incorreto
9	<p>1. Substitui $x=1$, mas comete erros aritméticos.</p> <p>2. Devido aos erros, não chega a uma indeterminação, calculando um resultado numérico direto.</p>	<p>- (AM 23) Fazer operações com números reais (com erro).</p>	1	<p>Memória de Trabalho: Baixa. Fortemente sobrecarregada ou com falhas de atenção, comprometendo operações aritméticas simples.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. Não associou o resultado com outras representações para verificar sua validade.</p> <p>Controle inibitório: Baixo. Sequer identificou a indeterminação.</p>	Incorreto
10	<p>1. Identifica a indeterminação "0/0".</p> <p>2. Fatora corretamente ambos os polinômios. Simplifica.</p> <p>3. Usa propriedades de limite de forma detalhada e correta.</p> <p>4. Chega ao resultado correto.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 16) Empregar propriedades dos</p>	6	<p>Controle Inibitório: Alto. Identifica corretamente a indeterminação.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta, passando da indeterminação para a estratégia de fatoração com sucesso.</p>	Correto

		números reais - (AM 51) Verificar - (AM 23) Fazer operações com números reais		Memória de Trabalho: Alta, gerenciando a fatoração e a aplicação de múltiplas propriedades.	
11	1. Tenta simplificar cancelando termos constantes de forma incorreta. (Identificação implícita da indeterminação). 2. Procede com mais simplificações inválidas e calcula um resultado final incorreto.	- (AM 30) Identificar - (AM 43) Simplificar (tentativa incorreta) - (AM 23) Fazer operações com números reais	3	Controle Inibitório: Baixo. Aplicou regras de fatoração de forma impulsiva, sem verificar sua validade. Memória de Trabalho: Baixa. Falha na recuperação de procedimentos algébricos válidos. Flexibilidade Cognitiva: Baixa. Não houve tentativa de outros procedimentos que pudessem resolver a questão.	Incorreto
12	1. Não realiza cálculos. 2. Analisa incorretamente os limites laterais. 3. Conclui que o limite não existe.	- (AM 33) Interpretar (com erro conceitual)	1	Memória de Trabalho: Baixa. Recuperou um procedimento (limites laterais) em um contexto inadequado. Flexibilidade Cognitiva: Baixa. Ficou preso a um único método, inaplicável para este caso. Controle inibitório: Baixo. Aplicou procedimentos sem verificar se eram aplicáveis ao contexto.	Incorreto

13	<p>1. Executa a divisão de ambos os polinômios por $(x-1)$. (Identificação implícita da indeterminação)</p> <p>2. Reescreve o limite na forma fatorada, simplifica.</p> <p>3. Chega ao resultado correto.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 51) Verificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	5	<p>Memória de Trabalho: Alta, gerenciando o algoritmo da divisão de polinômios sem erros.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. Mudança de estratégia bem-sucedida após, implicitamente, ter identificado a indeterminação.</p> <p>Controle inibitório: Alto. Identificação da indeterminação.</p>	Correto
14	<p>1. Identifica a indeterminação $0/0$.</p> <p>2. Mostra os cálculos da divisão de ambos os polinômios por $(x-1)$.</p> <p>3. Utilizou a propriedade de limite do quociente.</p> <p>4. Verifica, simplifica e encontra a resposta correta.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 16) Empregar propriedades dos números reais</p> <p>- (AM 51) Verificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	6	<p>Controle Inibitório: Alto. A identificação explícita da indeterminação ativou um plano secundário.</p> <p>Memória de Trabalho: Alta. Execução correta da divisão de polinômios.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. Recorreu ao algoritmo de divisão de polinômios para o numerador e para o denominador.</p>	Correto
15	<p>1. Fatora ambos os polinômios e simplifica corretamente. (Identificação implícita da indeterminação)</p> <p>2. Substitui $x=1$, mas comete um erro de cálculo com frações na etapa final.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	4	<p>Memória de Trabalho: Baixa. Sobrecarga ou lapso de atenção no passo final do cálculo aritmético.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. Dificuldade em transitar da Álgebra para a Aritmética.</p>	Incorreto

		(com erro)		Controle inibitório: Médio, identificando implicitamente a indeterminação. Ademais, falhou ao não inibir erros em passos aritméticos básicos.	
16	<p>1. Utiliza a fórmula de Bhaskara para encontrar as raízes. (Identificação implícita da indeterminação)</p> <p>2. Comete um erro de cálculo ao encontrar uma das raízes do denominador.</p> <p>3. Fatora e calcula com base na raiz incorreta e chega a um resultado incorreto.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular</p> <p>Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais (com erro)</p>	4	<p>Flexibilidade Cognitiva: Alta, pois escolheu um método adequado (Bhaskara).</p> <p>Memória de Trabalho: Baixa. Sobrecarga durante a execução do algoritmo da fórmula de Bhaskara, levando a um erro não percebido.</p> <p>Controle inibitório: Baixo. Falha na supressão de distrações e falta de verificação detalhada (atenção seletiva)</p>	Incorreto
17	Apenas a questão é apresentada, sem nenhuma resolução.	Nenhuma ação mental pôde ser identificada.	0	Ausência de resolução.	Em branco
18	<p>1. Utiliza a divisão de polinômios. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Comete erros de sinal nos quocientes de ambas as divisões.</p> <p>3. Usa os fatores incorretos para calcular um resultado final.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular</p> <p>Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais (com erro)</p>	4	<p>Memória de Trabalho: Baixa. A ocorrência de erros de sinal é um forte indicativo de sobrecarga, não conseguindo monitorar todos os detalhes da operação.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Média. Tenta recorrer à divisão de polinômios, porém, incorretamente.</p> <p>Controle inibitório:</p>	Incorreto

				Médio. Tenta sair da indeterminação utilizando a divisão de polinômios.	
19	<p>1. Identifica a indeterminação $0/0$.</p> <p>2. Usa propriedades de limite de forma detalhada e correta.</p> <p>3. Mostra os cálculos completos e corretos da divisão de polinômios.</p> <p>4. Simplifica e aplica propriedades para chegar ao resultado final.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 16) Empregar propriedades dos números reais</p> <p>- (AM 51) Verificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	6	<p>Memória de Trabalho: Alta. A resolução é organizada e eficiente, utilizando muitas propriedades de Limite, sugerindo que consegue manter o plano e os passos necessários em mente de forma fluida.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. Aplicação rigorosa das propriedades de Limites e transição fluida dessas propriedades com o pensamento algébrico.</p> <p>Controle inibitório: Alto. Execução sem erros de sinal ou saltos lógicos.</p>	Correto
20	<p>1. Mostra os cálculos da divisão de ambos os polinômios por $(x-1)$. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Não carrega a notação de limite na forma fatorada. Simplifica corretamente.</p> <p>3. Substitui $x=1$ e encontra o resultado correto.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 51) Verificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	5	<p>Memória de Trabalho: Alta. Conseguiu realizar o algoritmo de divisão de ambos os polinômios corretamente.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. Capacidade de retomar ao objetivo principal após concluir um sub-cálculo complexo.</p> <p>Controle inibitório: Alto. Alta capacidade de monitoramento de subetapas e inibição de erros de sinal.</p>	Correto

21	<p>1. Reescreve com os polinômios já fatorados. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Simplifica o termo comum.</p> <p>3. Substitui $x=1$, mas comete um erro no cálculo com frações.</p>	<p>- (AM 30) Identificar - (AM 35) Manipular Algebricamente - (AM 43) Simplificar - (AM 23) Fazer operações com números reais (com erro)</p>	4	<p>Memória de Trabalho: Média. O plano de ação foi bem executado, mas a etapa final de aritmética parece ter sobrecarregado o sistema, levando a um erro.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. Dificuldade de alternância de domínio. Dificuldade em revisar o próprio pensamento e mudar a estratégia de cálculo no fim da resolução.</p> <p>Controle inibitório: Baixo. Erro no cálculo da fração final.</p>	Incorreto
22	<p>1. Reescreve o limite com os polinômios já fatorados. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Simplifica e substitui $x=1$ na nova expressão.</p> <p>3. Calcula o resultado final de forma correta e direta.</p>	<p>- (AM 30) Identificar - (AM 35) Manipular Algebricamente - (AM 43) Simplificar - (AM 51) Verificar - (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	5	<p>Memória de trabalho: Alta. Desempenho sólido, com execução eficiente dos procedimentos.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. Alternância eficiente entre as tarefas.</p> <p>Controle inibitório: Alto. Sistema de monitoramento de erros eficiente.</p>	Correto
23	<p>1. Encontra as raízes corretas do numerador mas fatora incorretamente. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Fatora o denominador por divisão de</p>	<p>- (AM 30) Identificar - (AM 35) Manipular Algebricamente - (AM 43) Simplificar - (AM 23) Fazer</p>	4	<p>Memória de Trabalho: Baixa, erro na fatoração.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Média, utiliza duas estratégias diferentes de fatoração, porém com erros.</p>	Incorreto

	<p>polinômios. 3. Reescreve, simplifica, substitui $x=1$ mas chega ao resultado incorreto.</p>	<p>operações com números reais (com erro)</p>		<p>Controle inibitório: Médio. Tentou sair da indeterminação sem sucesso, sugerindo um monitoramento de erros falho.</p>	
24	<p>1. Não realiza cálculos. 2. Afirmar que o limite é a razão entre os coeficientes de x^2. 3. Apresenta o resultado $2/3$.</p>	<p>- (AM 33) Interpretar (com erro conceitual)</p>	1	<p>Memória de Trabalho: Baixa. Recuperou uma regra de um contexto incorreto (limites no infinito).</p> <p>Controle Inibitório: Baixo, pois aplicou uma regra memorizada sem verificar sua aplicabilidade.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. O aluno ficou preso a uma estratégia que funciona em outros contextos, não em uma indeterminação em um ponto finito.</p>	Incorreto
25	<p>1. Fatora ambos os polinômios. (Identificação implícita da indeterminação). 2. Reescreve o limite, simplifica e substitui $x=1$ para calcular o resultado corretamente.</p>	<p>- (AM 30) Identificar - (AM 35) Manipular Algebricamente - (AM 43) Simplificar - (AM 51) Verificar - (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	5	<p>Memória de Trabalho: Alta. Fatoração eficiente, sugerindo confiança e automaticidade nesse tipo de procedimento.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. Transição fluida entre a manipulação algébrica e a lógica de Limites.</p> <p>Controle inibitório: Alto. Atenção Sustentada e Seletiva. Elevado monitoramento de erros.</p>	Correto

26	<p>1. Reescreve o limite substituindo os termos $2x^2$ e $3x^2$ por $4x$ e $6x$. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Procede com manipulações incorretas.</p>	<p>- (AM 30) Identificar - (AM 35) Manipular Algebricamente (com erro)</p>	2	<p>Controle Inibitório: Baixo. O estudante aplicou procedimentos que parecem ser uma mistura de regras (talvez de derivação) sem critério.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. Dificuldade em abandonar uma estratégia falha ou perceber a perda de lógica.</p> <p>Memória de trabalho: Baixa. A tentativa de aplicação da Regra de L'Hôpital parece ter sobrecarregado a memória de trabalho.</p>	Incorreto
27	<p>1. Apresenta a questão e, ao lado, o resultado $2/6$, sem desenvolvimento.</p>	<p>- (AM 33) Interpretar (com erro conceitual)</p>	1	<p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. Dificuldade de trocar o contexto (Limites no infinito para Limite em um ponto fixo).</p> <p>Controle inibitório: Baixo. O aluno provavelmente aplicou a regra da razão dos coeficientes, comum para limites no infinito, porém inaplicável neste caso.</p> <p>Memória de trabalho: Baixa. Sobrecarga ou subutilização da Memória de Trabalho: o aluno apenas busca na memória de longo prazo um padrão visual que se assemelhe à questão e</p>	Incorreto

				extrai uma resposta pronta.	
28	1. A folha contém várias tentativas desconexas de fatoração e outras manipulações, sem um caminho claro. (Identificação implícita da indeterminação).	- (AM 30) Identificar - (AM 35) Manipular Algebricamente (tentativa) - (AM 23) Fazer operações com números reais (com erro)	3	Flexibilidade Cognitiva: Baixa. O aluno tenta ativar várias estratégias ao mesmo tempo, criando uma interferência mútua em que uma tentativa de fatoração atrapalha a outra. Memória de Trabalho: Baixa. Ao tentar fatorar, o aluno esquece o objetivo principal (sair da indeterminação). A carga cognitiva de manipular os termos algébricos esgota a capacidade da memória de trabalho de manter o plano principal ativo. Controle inibitório: Baixo. Incapacidade de inibir a interferência cognitiva; Falha na inibição de respostas irrelevantes; Tentativas repetidas do mesmo erro.	Incorreto
29	1. Divide o numerador pelo denominador e encontra $x+3$. 2. Substitui $x=1$ no termo encontrado $(x+3)$ para obter 4 como resposta.	- (AM 35) Manipular Algebricamente (tentativa) - (AM 23) Fazer operações com números reais (com erro)	2	Flexibilidade Cognitiva: Baixa. O aluno mudou de representação (da álgebra para a substituição numérica) com facilidade, mas sobre uma base falsa, o que indica que a transição foi mecânica, e não reflexiva. Controle inibitório: Baixo. O erro na divisão	Incorreto

				<p>sugere que o sistema de detecção de conflitos (córtex cingulado anterior) não disparou o alerta quando um sinal ou coeficiente foi manipulado incorretamente.</p> <p>Memória de trabalho: Baixa. Esgotamento da memória de trabalho tentando realizar a divisão, sobrando pouco espaço para as funções de controle e flexibilidade operarem.</p>	
30	<p>1. Identifica a indeterminação 0/0. 2. Tenta fatorar, mas a fatoração do numerador está incorreta. 3. Tenta outra maneira de resolver, possivelmente L'Hopital.</p>	<p>- (AM 30) Identificar - (AM 35) Manipular Algebricamente (com erro) - (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	3	<p>Controle Inibitório: Médio, embora tenha sinalizado com "NÃO!" ao lado do 0/0, ele não teve o rigor necessário para a execução sem erros da primeira escolha (fatoração).</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. Ao perceber que a fatoração do numerador está incorreta ou não está conduzindo à simplificação esperada, o aluno não "trava". Ele demonstra agilidade para buscar uma ferramenta alternativa (L'Hôpital).</p> <p>Memória de trabalho: Médio, com erro na fatoração do numerador, sugerindo sobrecarga.</p>	Incorreto

31	<p>1. Mostra a divisão de polinômios com erro de sinal no quociente do denominador. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Simplifica mas ao calcular, chega a um resultado final incorreto por conta do erro ao fatorar o denominador.</p>	<p>- (AM 30) Identificar - (AM 35) Manipular Algebricamente (com erro) - (AM 43) Simplificar - (AM 23) Fazer operações com números reais (com erro)</p>	<p>4</p> <p>Memória de Trabalho: Baixa. O esforço necessário para organizar o dividendo, o divisor e as sucessivas subtrações consome quase toda a capacidade de processamento, comprometendo o resultado.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. Ao simplificar e calcular com base em uma fatoração errada, o aluno demonstra uma aplicação rígida do plano original. Se a simplificação resultou em algo que não simplificou perfeitamente ou que gerou um valor atípico, um aluno com alta flexibilidade pararia para reavaliar a divisão.</p> <p>Controle inibitório: Baixo. Falha na inibição de interferência: o sistema executivo de monitoramento deveria detectar que, ao multiplicar o quociente pelo divisor, o resultado não anula o termo anterior. O baixo controle inibitório faz com que o aluno aceite o sinal incorreto para aliviar a carga cognitiva da divisão e seguir adiante.</p>	Incorreto
----	---	---	--	-----------

32	1. A folha mostra múltiplas tentativas de divisão de polinômios com divisores incorretos.	. - (AM 35) Manipular Algebricamente (tentativa)	1	<p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. O fato de haver múltiplas tentativas com divisores incorretos indica que o aluno está preso em um padrão de erro. O aluno muda os números dentro da divisão, mas não muda a lógica por trás da escolha do divisor.</p> <p>Memória de Trabalho: Baixa. Incapacidade de manter o objetivo principal, sobrecarga por processamento ineficiente (ficar tentando descobrir o divisor).</p> <p>Controle inibitório: Baixo. O aluno escreve e executa divisões que, logicamente, não levariam à simplificação. Isso sugere impulsividade motora e cognitiva.</p>	Incorreto
33	1. Tenta resolver dividindo todos os termos por x^2 . (Identificação implícita da indeterminação). 2. Abandona o método ao perceber que a indeterminação $0/0$ persiste, sem novas tentativas.	- (AM 30) Identificar - (AM 35) Manipular Algebricamente (com erro) - (AM 23) Fazer operações com números reais (com erro)	3	<p>Memória de Trabalho: Baixa. Ausência de plano B: a tentativa frustrada de dividir por x^2 pode ter consumido muita Memória de Trabalho e energia atencional e o aluno simplesmente não teve recursos para voltar ao problema e identificar a necessidade de fatoração.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. O aluno conseguiu abandonar uma</p>	Incorreto

				<p>estratégia, o que evita a insistência no erro. No entanto, ele falhou na segunda metade da função executiva: a capacidade de saltar para um novo esquema mental (fatoração ou L'Hôpital).</p> <p>Controle inibitório: Baixo. O controle inibitório pode ter agido de forma excessiva ou inadequada, levando à desistência.</p>	
34	<p>1. Identifica a indeterminação e descreve a necessidade de manipular a função. 2. Infere que 1 é uma raiz de ambos os polinômios e $(x-1)$ é um fator e prossegue com a divisão, executando-a corretamente. 3. Simplifica, verifica, substitui $x=1$ e chega ao resultado correto.</p>	<p>- (AM 30) Identificar - (AM 10) Convencer o outro, explicar verbalmente - (AM 32) Inferir - (AM 35) Manipular Algebricamente - (AM 43) Simplificar - (AM 51) Verificar - (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	7	<p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. O aluno alterna de forma fluida entre o pensamento analítico (identificar a indeterminação), o algébrico (divisão/fatoração) e o aritmético (substituição final).</p> <p>Controle inibitório: Alto. Inibição de erros de execução, Inibição de impulsividade, Vigilância atencional durante toda a resolução.</p> <p>Memória de trabalho: Alta. A Memória de Trabalho acessa rapidamente a Memória de Longo Prazo para recuperar o Teorema de D'Alembert (se $f(1)=0$, então $(x-1)$ é fator). Isso reduz a carga cognitiva, pois o aluno não precisa</p>	Correto

				gastar energia testando divisores aleatórios; ele já trabalha com o dado correto.	
35	<p>1. Substitui $x=1$ para encontrar $0/0$.</p> <p>2. Realiza a divisão de ambos os polinômios de forma correta.</p> <p>3. Reescreve o limite e calcula o resultado final corretamente.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 51) Verificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	5	<p>Memória de Trabalho: Alta, executando o algoritmo de divisão de polinômios duas vezes de forma organizada e correta.</p> <p>Controle Inibitório: Alto. O fato de o aluno ter executado a divisão de ambos os polinômios de forma correta sugere um sistema de monitoramento atento, que inibe distrações e deslizos mecânicos durante a manipulação algébrica.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. Aplica a divisão de forma direta e reescreve o limite, demonstrando que consegue adaptar sua forma de pensar à estrutura específica da questão.</p>	Correto
36	<p>1. Substitui $x=1$, mas comete erros aritméticos.</p> <p>2. Por conta dos erros de cálculo, não encontra a indeterminação e chega a um resultado numérico incorreto.</p>	<p>- (AM 23) Fazer operações com números reais (com erro)</p>	1	<p>Memória de Trabalho: Baixa. Erros aritméticos simples em uma substituição ($x=1$) podem indicar que a Memória de Trabalho está saturada.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. Rigidez</p> <p>Procedimental: o aluno demonstra estar preso no</p>	Incorreto

				<p>modo de substituição simples. Mesmo que o resultado final seja um número que não faz sentido no contexto do problema, ele não consegue mudar para outra abordagem.</p> <p>Controle inibitório: Baixo. O erro aritmético é um deslize em que o impulso de terminar a conta atropela o rigor da execução. O aluno não inibe a primeira resposta numérica que sua mente produz, aceitando-a sem submetê-la a uma verificação.</p>	
37	<p>1. Fatora o numerador corretamente, mas o denominador de forma incorreta. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Substitui $x=1$ na expressão errada e calcula o resultado final incorretamente.</p>	<p>- (AM 30) Identificar - (AM 35) Manipular Algebricamente (com erro) - (AM 23) Fazer operações com números reais (com erro)</p>	3	<p>Memória de Trabalho: Média. Fatorar o numerador corretamente exige que a Memória de Trabalho manipule regras algébricas com precisão. No entanto, faturar o denominador logo em seguida exige que a Memória de Trabalho resete o processo e mantenha novos coeficientes ativos. O erro no denominador sugere que a capacidade de processamento da MT foi esgotada na primeira etapa.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. A flexibilidade também envolve a</p>	Incorreto

				<p>capacidade de retornar ao problema quando algo parece errado. O aluno não conseguiu se desprender da substituição final para reavaliar a etapa da fatoração.</p> <p>Controle inibitório: Baixo. O controle inibitório deveria atuar como um filtro que impede o uso de um dado corrompido. Ao aceitar a expressão errada para o cálculo final, o sistema de monitoramento do aluno demonstrou baixa vigilância.</p>	
38	<p>1. Substitui $x=1$, encontra $0/0$ e identifica como "Indeterm." 2. Para a resolução neste ponto.</p>	<p>- (AM 30) Identificar - (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	2	<p>Controle Inibitório: Médio. O aluno inibiu o impulso de inventar um número ou de ignorar a indeterminação. Por outro lado, diante da incerteza do próximo passo, o sistema de inibição interrompeu completamente o comportamento de resolução para evitar o erro, resultando na desistência.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Baixa. Não conseguiu ativar uma estratégia alternativa.</p> <p>Memória de trabalho: Média. A memória de</p>	Incorreto

				trabalho funcionou bem na fase de manutenção, mas falhou na recuperação da Memória de Longo Prazo.	
39	<p>1. Reescreve o limite com os polinômios já fatorados. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Simplifica e substitui $x=1$, apresentando a resposta correta.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 51) Verificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	5	<p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. O aluno conseguiu reestruturar a forma da função mentalmente.</p> <p>Controle inibitório: Alto. O aluno inibe o impulso de escrever todas as contas auxiliares (como a divisão de polinômios ou testes de raiz) no corpo principal da questão. Isso indica alto controle sobre o que é essencial para atingir a meta.</p> <p>Memória de trabalho: Alta. Ao reescrever o limite já fatorado, o aluno demonstra que sua Memória de Trabalho consegue agrupar o polinômio em fatores simples.</p>	Correto
40	<p>1. Detalha o processo de fatoração por agrupamento. (Identificação implícita da indeterminação).</p> <p>2. Apresenta a sequência do cálculo do limite de forma correta.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 51) Verificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	5	<p>Memória de Trabalho: Alta. A fatoração por agrupamento é uma das técnicas algébricas que mais sobrecarrega a Memória de Trabalho, pois exige a manutenção simultânea de vários fragmentos de informação.</p> <p>Flexibilidade Cognitiva: Alta. O aluno demonstra</p>	Correto

			<p>alta flexibilidade ao deixar de ver o polinômio como uma sequência de somas e subtrações para enxergá-lo como um produto de fatores.</p> <p>Controle inibitório: Alto. Durante o agrupamento, é comum que termos semelhantes causem confusão visual. O aluno demonstra um controle inibitório robusto ao ignorar distratores e focar apenas nos termos que possuem o fator comum necessário para cada etapa da fatoração.</p>		
41	<p>1. Infere que 1 é uma raiz de ambos os polinômios e $(x-1)$ é um fator e prossegue com a divisão, executando-a corretamente.</p> <p>2. Simplifica, verifica, substitui $x=1$ e chega ao resultado correto.</p>	<p>- (AM 30) Identificar</p> <p>- (AM 10) Convencer o outro, explicar verbalmente</p> <p>- (AM 32) Inferir</p> <p>- (AM 35) Manipular Algebricamente</p> <p>- (AM 43) Simplificar</p> <p>- (AM 51) Verificar</p> <p>- (AM 23) Fazer operações com números reais</p>	7	<p>Controle Inibitório: Alto. A divisão de polinômios pode levar a erros de sinal. A execução correta indica que o aluno inibiu a interferência de operações anteriores, mantendo o foco seletivo em cada passo do algoritmo.</p> <p>Memória de Trabalho: Alta. Ao inferir que $(x-1)$ é um fator, o aluno acessa a Memória de Longo Prazo e traz essa regra para o rascunho mental. Isso evita o desperdício de carga cognitiva com tentativas e erros, preservando recursos para a execução da divisão.</p>	Correto

				Flexibilidade Cognitiva: Alta. O aluno demonstra alta flexibilidade ao deixar de ver a expressão como uma fração numérica e passar a vê-la como uma estrutura composta por fatores. Ele quebra a rigidez da função original para reconstruí-la.	
--	--	--	--	---	--

Fonte: Elaborado pela autora com dados da pesquisa (2025), com base em Miyake et al. (2000), Diamond (2013), Dehaene (2011), Ansari (2019) e Alvarenga; Domingos (2020)

ANEXO B - Algumas resoluções da questão de Limite dos participantes deste estudo

$$b) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{(2x+3)(x-1)}{(3x-5)(x-1)} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x+3}{3x-5} = \frac{2 \lim_{x \rightarrow 1} x + \lim_{x \rightarrow 1} 3}{3 \lim_{x \rightarrow 1} x - \lim_{x \rightarrow 1} 5}$$

$$= \frac{2+3}{3-5} = \frac{5}{-2} = -\frac{5}{2}$$

$$b) \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \frac{(x-1) \cdot (x + 3/2)}{(x-2) \cdot (x - 2/3)} \rightarrow x \rightarrow 1 \left\{ \begin{array}{l} (1-1) \cdot (1 + 3/2) = 0 \\ -1 \cdot (1 - 2/3) = -1/3 \end{array} \right.$$

$\rightarrow \frac{0}{-1/3}$

$$b) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} \Rightarrow \frac{(x-1)(2x+3)}{(x-1)(3x-5)} \Rightarrow \frac{2x+3}{3x-5} \Rightarrow \frac{2(1)+3}{3(1)-5} = \frac{-5}{2}$$

$$\begin{array}{r|l} 3x^2 - 8x + 5 & \frac{x-1}{3x-5} \\ -3x^2 + 3x & -2x^2 + x - 3 \\ \hline -9x + 5 & 3x - 3 \\ 9x + 5 & -3x + 3 \\ \hline 0 & 0 \end{array}$$

$$b) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \frac{2^2 + 1 - 3}{3^2 - 8 + 5} = \frac{3}{8}$$

$$b) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{(2x+3) \cdot \cancel{(x-1)}}{(3x-5) \cdot \cancel{(x-1)}} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x+3}{3x-5} = \frac{2+3}{3-5}$$

~~Resposta: -5/2~~ Resposta: $-\frac{5}{2}$

$$2^{\circ} \text{ b) } \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \frac{2}{6}$$

$$\begin{aligned} \text{a) } \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} &= \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{x(x-3) - 8x + 5} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2}{-8x} \\ \lim_{x \rightarrow 1} &= \frac{2x^2}{-8x} = \frac{2 \cdot 1^2}{-8 \cdot 1} = \frac{2}{-8} = -\frac{1}{4} \end{aligned}$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{4 + x - 3}{5x - 8x + 5} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2}{6}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} &= \frac{(x-1) \cdot (2x+3)}{(x-1) \cdot (3x-5)} \cdot \frac{2x^2 + x - 3}{-2x^2 - 2x} \cdot \frac{2x}{2x} \\ \lim_{x \rightarrow 1} \frac{(x-1) \cdot (2x+3)}{(x-1) \cdot (3x-5)} & \quad x \neq 1 \\ \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x+3}{3x-5} &= \frac{\lim_{x \rightarrow 1} 2x+3}{\lim_{x \rightarrow 1} 3x-5} = \frac{5}{-2} \\ & \quad \frac{2x^2 + x - 3}{-2x^2 - 2x} \cdot \frac{2x}{2x} \\ & \quad \frac{3x^2 - 8x + 5}{3x^2 - 3x} \cdot \frac{x-1}{3x-5} \\ & \quad \frac{-5x+5}{-5x+5} \\ & \quad \frac{-5x+5}{6} \end{aligned}$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = -\frac{5}{2}$$

$$b) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\cancel{(x-1)}(2x+3)}{\cancel{(x-1)}(3x-5)}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x+3}{3x-5} = \left(-\frac{5}{2} \right)$$

$$\begin{array}{r} 2x^2 + x - 3 \quad | \quad x-1 \\ -2x^2 + 2x \\ \hline 3x - 3 \\ 3x + 3 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3x^2 - 8x + 5 \quad | \quad x-1 \\ -3x^2 + 3x \\ \hline -5x + 5 \\ +5x - 5 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$a) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5}$$

$$\downarrow x(3x-8)+5$$

$$\frac{x(2x+1)-3}{x(3x-8)+5} = \frac{(2x+1)-3}{(3x-8)+5} =$$

$$b) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} \Rightarrow \frac{0}{0} \text{ unbestimmtes Nenn}$$

$$\frac{2 \cdot (x+1) \cdot (x-\frac{3}{2})}{3 \cdot (x+1) \cdot (x+\frac{5}{3})} = \frac{2 \cdot (x-\frac{3}{2})}{3 \cdot (x+\frac{5}{3})} = \frac{2 \cdot (1-\frac{3}{2})}{3 \cdot (1+\frac{5}{3})}$$

$$= \frac{2 \cdot (-\frac{1}{2})}{3 \cdot \frac{8}{3}} = \underline{\underline{-\frac{1}{8}}}$$

$$b) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \frac{2(1)^2 + 1 - 3}{3(1)^2 - 8(1) + 5} = \frac{3 - 3}{-5 + 5} = \frac{0}{0} \text{ und}$$

$$\frac{(x+2)(x-3)}{(x-4)(x+2)} \cdot \frac{x-3}{x-4} = \frac{-2}{-3} = \frac{2}{3} \quad \left| \frac{2 \cdot (x+1)(x-3)}{3 \cdot (x-3)(x+2)} = \frac{2 \cdot (x+1)}{3 \cdot (x+2)} = \frac{4}{9} \right.$$

$$a) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \frac{0}{0} \Rightarrow \text{immer noch polynomdivision}$$

$$\frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \frac{2 \cdot (x - 1) \cdot (x + \frac{3}{2})}{3 \cdot (x - 1) \cdot (x - \frac{5}{3})} = \frac{2}{3} \cdot \frac{(x + \frac{3}{2})}{(x - \frac{5}{3})}$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{2}{3} \cdot \frac{\lim_{x \rightarrow 1} (x + \frac{3}{2})}{\lim_{x \rightarrow 1} (x - \frac{5}{3})} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2}{3} \cdot \frac{\lim_{x \rightarrow 1} x + \lim_{x \rightarrow 1} \frac{3}{2}}{\lim_{x \rightarrow 1} x + \lim_{x \rightarrow 1} \frac{5}{3}} =$$

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{1 + \frac{3}{2}}{1 + (-\frac{5}{3})} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\frac{5}{2}}{-\frac{2}{3}} = \frac{2}{3} \cdot (-\frac{15}{4}) = \boxed{-\frac{5}{2}}$$

$$b) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} \frac{(x-1)(x+1,5)}{(x-1)(x+1,7)} \approx 1$$

$$2x^2 + x - 3 \quad -1 \pm 5 \quad \rightarrow x^1 = 1$$

$$a: 2 \quad b: 1 \quad c: -3 \quad \frac{1}{4} \quad \rightarrow x^1 = 1,5$$

$$D: 1 - 4 \cdot 2 \cdot (-3) \quad w: 3 \quad b: -8 \quad c: 5$$

$$D: 1 + 24 \quad D: 64 - 4 \cdot 3 \cdot 5$$

$$D: 25$$

$$D: 4$$

$$\frac{+8 \pm 2}{6} \quad \rightarrow x^1 = 1,7$$

$$\frac{1}{6} \quad \rightarrow x^1 = 1$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{(x-1)(x+1,5)}{(x-1)(x+1,7)}$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x+1,5}{x+1,7} = \frac{1+1,5}{1+1,7} =$$

$$\frac{2,5}{2,7} \approx 1$$

$$b) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = 0$$

$$b) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} \stackrel{\lim_{x \rightarrow 1} (x-1) \cdot (2x-3)}{\lim_{x \rightarrow 1} (x-1) \cdot (3x+5)} \Rightarrow$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x-3}{3x+5} = \frac{2 \cdot 1 - 3}{3 \cdot 1 + 5} = \frac{2-3}{3+5} = -\frac{1}{8}$$

$$\begin{array}{r} 2x^2 + x - 3 \mid x-1 \\ -2x^2 + 2x \\ \hline 3x - 3 \\ -3x + 3 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3x^2 - 8x + 5 \mid x-1 \\ -3x^2 + 3x \\ \hline -5x + 5 \\ +5x - 5 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$b) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} =$$

Como as raízes do numerador são 1 e $-\frac{3}{2}$

temos que

$$\frac{(x-1)(x-\frac{3}{2})}{3x^2 - 8x + 5}; \text{ fazendo a divisão de polinômios}$$

$$\begin{array}{r} 3x^2 - 8x + 5 \mid (x-1) \\ -3x^2 + 7x \\ \hline -5x + 5 \\ +5x - 5 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$\text{temos } \frac{(x-1)(x-\frac{3}{2})}{(x-1)(3x-5)}$$

Assim:

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{(x-\frac{3}{2})}{(3x-5)} = \frac{1-\frac{3}{2}}{3-5} = \frac{-\frac{1}{2}}{-2} = \frac{1}{4}$$

b) $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5}$ = Neste caso o valor do limite é dado pelo número que o compoenta
 x^2 , ou seja, $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \frac{2}{3}$

Questão b \rightarrow a

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\cancel{2x^2} + \frac{x}{x^2} - \frac{3}{x^2}}{\frac{\cancel{3x^2}}{x^2} - \frac{8x}{x^2} + \frac{5}{x^2}} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2 + \frac{1}{x^2} - \frac{3}{x^2}}{3 - \frac{8x}{x^2} + \frac{5}{x^2}} =$$

continua $\frac{0}{0}$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{(2x+3) \cdot (x-1)}{(3x-5) \cdot (x-1)} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x+3}{3x-5} = \frac{2 \cdot 1 + 3}{3 \cdot 1 - 5} = \frac{5}{-2} = \boxed{-\frac{5}{2}}$$

$3 \cdot 2$	$1 \cdot 6$	$-3 \cdot 5$	$1 \cdot 5$
$P+q = 1$	$-2 \cdot 3$	$P+q = -8$	$3 \cdot 5$
$P \cdot q = -6$		$P \cdot q = 15$	
$3 \cdot 2$		$-3 \cdot 5$	

$$2x^2 + x - 3 = (2x^2 - 2x) \cdot (3x - 3) = 2x(x-1) \cdot 3(x-1) = (2x+3) \cdot (x-1)$$

$$3x^2 - 8x + 5 = (3x^2 - 3x) \cdot (-5x + 5) = 3x(x-1) \cdot -5(x-1) = (3x-5) \cdot (x-1)$$

b) $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x^2 + x - 3}{3x^2 - 8x + 5} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2 \cdot 1^2 + 1 - 3}{3 \cdot 1^2 - 8 \cdot 1 + 5} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{1}{5}$