

Funções executivas e carga cognitiva: uma experiência em sala de aula com questões do ENEM

RESUMO

Jader Otavio Dalto

jaderdalto@utfpr.edu.br

orcid.org/0000-0001-7684-2480

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Gabriel Pereira de Paula

gabrielp.2018@outlook.com

orcid.org/0009-0008-1249-6097

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Este estudo analisa como a redução da carga cognitiva extrínseca influencia a mobilização das Funções Executivas na resolução de tarefas matemáticas em contexto escolar. Fundamentado na articulação entre o modelo das Funções Executivas — Memória de Trabalho, Controle Inibitório e Flexibilidade Cognitiva — e a Teoria da Carga Cognitiva, o trabalho busca compreender os processos cognitivos mobilizados durante a resolução de tarefas. A pesquisa, de abordagem qualitativa interpretativa, foi realizada com 19 estudantes da 2ª série do Ensino Médio de uma escola pública. Os dados foram produzidos a partir da resolução de cinco questões do ENEM sobre função afim, apresentadas em duas versões: original e modificada, com redução da carga cognitiva extrínseca por meio de simplificação linguística, eliminação de redundâncias e reorganização textual. A coleta ocorreu em três momentos: resolução individual, discussão em grupo e discussão coletiva. Os resultados indicam que a redução da carga cognitiva extrínseca não altera a natureza conceitual das tarefas, mas modifica as condições cognitivas de sua resolução. Observou-se maior fluidez nos processos, melhor organização das informações e menor necessidade de filtragem ativa em enunciados reduzidos. Evidenciou-se, ainda, que a mobilização das Funções Executivas é sensível à estrutura das tarefas, sendo influenciada pela forma de apresentação das informações. O estudo contribui ao explicitar os mecanismos cognitivos envolvidos na relação entre estrutura dos itens e resolução matemática, avançando na articulação entre Teoria da Carga Cognitiva e Funções Executivas, e destacando o papel das condições cognitivas na aprendizagem matemática.

PALAVRAS-CHAVE: Funções Executivas; Teoria da Carga Cognitiva; ENEM; Avaliação; Ensino Médio.

Executive functions and cognitive load: a classroom-based experience with ENEM items

ABSTRACT

This study analyses how the reduction of extraneous cognitive load influences the mobilisation of Executive Functions in solving mathematical tasks in a school context. Grounded in the articulation between the Executive Functions model—Working Memory, Inhibitory Control, and Cognitive Flexibility—and Cognitive Load Theory, the study seeks to understand the cognitive processes involved during task resolution. The research adopts a qualitative interpretative approach and was conducted with 19 high school students (2nd year) from a public school. Data were generated through the resolution of five ENEM items on linear functions, presented in two versions: original and modified, with reduced extraneous cognitive load achieved through linguistic simplification, elimination of redundancies, and textual reorganization. Data collection occurred in three stages: individual resolution, group discussion, and whole-class discussion. The results indicate that reducing extraneous cognitive load does not alter the conceptual nature of the tasks but modifies the cognitive conditions under which they are solved. Greater fluency in problem-solving processes, improved organisation of information, and a reduced need for active filtering were observed in the simplified versions. Additionally, the mobilisation of Executive Functions was found to be sensitive to task structure, being influenced by the way information is presented. The study contributes by making explicit the cognitive mechanisms underlying the relationship between item structure and mathematical problem solving, advancing the articulation between Cognitive Load Theory and Executive Functions, and highlighting the role of cognitive conditions in mathematics learning.

KEYWORDS: Executive Functions; Cognitive Load Theory; ENEM; Assessment; High School.

INTRODUÇÃO

Avaliações externas em larga escala, como o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), desempenham papel estruturante no cenário educacional brasileiro, influenciando práticas pedagógicas, organização curricular e processos de ensino e aprendizagem. No entanto, o desempenho dos estudantes nessas avaliações não pode ser explicado exclusivamente pelo domínio conceitual dos conteúdos matemáticos. A estrutura dos itens, a organização textual e as demandas cognitivas impostas pelas tarefas que compõem o exame constituem variáveis que interferem no desempenho dos estudantes.

Nesse contexto, dois referenciais teóricos têm se mostrado particularmente relevantes: o modelo das Funções Executivas (FE) e a Teoria da Carga Cognitiva (TCC). As Funções Executivas são definidas como um conjunto de habilidades cognitivas autorregulatórias que permitem ao indivíduo controlar impulsos, adaptar comportamentos, tomar decisões e resolver problemas orientados a metas. São mobilizadas sempre que o sujeito realiza tarefas que não foram automatizadas, como ocorre frequentemente na aprendizagem matemática.

O modelo de Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter e Wager (2000) propõe três núcleos centrais das Funções Executivas: Memória de Trabalho (MT), Controle Inibitório (CI) e Flexibilidade Cognitiva (FC). Esses componentes atuam de maneira parcialmente independente, mas inter-relacionada, sendo particularmente exigidos em tarefas que envolvem múltiplas etapas, reorganização de informações e necessidade de adaptação estratégica.

A Memória de Trabalho é responsável pela manutenção e manipulação temporária de informações necessárias ao alcance de um objetivo. Como destacado por Diamond (2013), ela pode operar sobre conteúdos verbais, visuoespaciais ou multimodais, sendo crucial em situações que demandam coordenação simultânea de dados — como na resolução de problemas matemáticos contextualizados. O Controle Inibitório, por sua vez, refere-se à capacidade de suprimir respostas automáticas ou irrelevantes, permitindo selecionar informações pertinentes. Já a Flexibilidade Cognitiva está associada à habilidade de alternar estratégias ou perspectivas diante de obstáculos.

No âmbito das Funções Executivas, para além de seus componentes básicos — Memória de Trabalho, Controle Inibitório e Flexibilidade Cognitiva —, destaca-se a existência de processos de ordem superior, relacionados ao monitoramento e à regulação da atividade cognitiva. Entre esses processos, a metacognição tem sido apontada como um construto relevante para compreender a aprendizagem, especialmente em Matemática, por envolver a capacidade de o sujeito acompanhar, avaliar e ajustar seus próprios modos de pensar durante a resolução de tarefas. Estudos na área (Rosa & Schmitz, 2020) também indicam a predominância de abordagens qualitativas e a centralidade da análise de estratégias cognitivas, reforçando a importância de investigações que considerem não apenas os resultados das tarefas, mas os processos envolvidos em sua resolução.

Paralelamente, a Teoria da Carga Cognitiva, desenvolvida por Sweller (1988; 2003; 2023), parte do pressuposto de que a memória de trabalho possui capacidade limitada. Quando as demandas de uma tarefa excedem essa capacidade, ocorre sobrecarga cognitiva, prejudicando o desempenho e a aprendizagem. A TCC

distingue três tipos de carga: intrínseca, relacionada à complexidade do conteúdo; extrínseca, decorrente da forma de apresentação das informações; e pertinente (ou germânica), associada ao esforço voltado à construção de esquemas cognitivos.

No caso de itens do ENEM, a presença de textos extensos, informações contextuais dispersas e dados irrelevantes pode aumentar a carga cognitiva extrínseca, exigindo maior mobilização da Memória de Trabalho e do Controle Inibitório. Assim, estudantes podem apresentar dificuldades não apenas por limitações conceituais, mas por sobrecarga decorrente da organização do enunciado.

Sob uma perspectiva pedagógica, estudos fundamentados no Desenho Universal e no Desenho Universal para a Aprendizagem têm destacado a importância da forma de apresentação das tarefas na promoção do acesso à aprendizagem, defendendo a organização das informações de modo claro, estruturado e acessível (Cassano, Muzzio & Góes, 2022). Ainda que não se apoiem diretamente em modelos cognitivos, tais abordagens convergem com a Teoria da Carga Cognitiva ao enfatizarem a redução de barreiras desnecessárias ao processamento da informação.

Apesar da relevância desses referenciais, ainda são escassos estudos empíricos que articulem diretamente a mobilização das Funções Executivas com diferentes níveis de carga cognitiva em contextos de sala de aula da Educação Básica. A esse respeito, estudos como o de Braga e Dalto (2025) e Cunha e Dalto (2025) abordam a temática das Funções Executivas de forma isolada e estudos como o de Chagas (2019) abordam a temática da Teoria da Carga Cognitiva também de forma isolada.

Na Educação Matemática, a resolução de problemas constitui um de seus eixos estruturantes, sendo compreendida não apenas como estratégia de ensino, mas como objeto de investigação acerca dos processos mobilizados pelos estudantes diante de tarefas matemáticas (Onuchic & Allevato, 2011). Nessa perspectiva, compreender como características estruturais das tarefas influenciam esses processos pode contribuir para ampliar as interpretações produzidas pela área. Ademais, apesar da existência de uma longa tradição de pesquisas sobre resolução de problemas, compreensão de enunciados e estratégias de resolução na Educação Matemática, estudos fundamentados em Funções Executivas e Teoria da Carga Cognitiva podem contribuir para compreender mecanismos cognitivos subjacentes a esses processos, ampliando as interpretações tradicionalmente produzidas na área.

Diante dessa lacuna, este artigo se configura como um recorte da dissertação de Paula (2026) que teve como objetivo analisar efeitos da redução da carga cognitiva extrínseca na mobilização das Funções Executivas — Memória de Trabalho, Controle Inibitório e Flexibilidade Cognitiva — na resolução de cinco questões do ENEM envolvendo funções polinomiais de 1º grau, por estudantes da 2ª série do Ensino Médio.

Ao articular o modelo de Miyake et al. (2000) com a Teoria da Carga Cognitiva de Sweller (1988; 2003), busca-se compreender não apenas o resultado final das resoluções, mas os processos cognitivos mobilizados durante o desenvolvimento da atividade em situações reais de sala de aula.

REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste estudo organiza-se em dois eixos complementares. O primeiro aborda as Funções Executivas, compreendidas como processos cognitivos responsáveis pela regulação do pensamento e da ação em situações que exigem planejamento, controle atencional e adaptação estratégica (Miyake et al., 2000; Diamond, 2013). O segundo eixo apresenta a Teoria da Carga Cognitiva, que explica como as características estruturais de uma tarefa influenciam o uso dos recursos da memória de trabalho (Sweller, 1988; 2003). A seguir, cada um desses eixos é apresentado de forma sistematizada.

FUNÇÕES EXECUTIVAS

As Funções Executivas (FE) constituem um conjunto de processos cognitivos de alto nível responsáveis pela regulação intencional do comportamento, especialmente em situações novas ou que exigem controle deliberado. Diferentemente de respostas automatizadas, as FE são mobilizadas quando o indivíduo precisa planejar, monitorar, ajustar estratégias ou inibir impulsos diante de demandas complexas — como ocorre frequentemente na resolução de tarefas matemáticas.

O modelo proposto por Miyake et al. (2000) tornou-se uma das principais referências na delimitação estrutural das FE. A partir de análises fatoriais, os autores identificaram três componentes centrais parcialmente independentes, mas inter-relacionados: Memória de Trabalho (Working Memory), Controle Inibitório (Inhibitory Control) e Flexibilidade Cognitiva (Shifting). Essa estrutura tripartite permite compreender tanto a especificidade quanto a integração funcional dos processos executivos.

A Memória de Trabalho (MT) refere-se à capacidade de manter e manipular informações temporariamente para alcançar um objetivo. Segundo Diamond (2013), trata-se de um sistema ativo, que não apenas armazena dados, mas os reorganiza e transforma conforme as exigências da tarefa. A MT pode operar sobre conteúdos verbais, visuoespaciais ou multimodais, sendo essencial para coordenar múltiplas representações simultaneamente. Na resolução de questões do ENEM envolvendo funções afins, por exemplo, o estudante precisa manter dados numéricos, interpretar relações entre variáveis e articular essas informações à estrutura algébrica correspondente. Quando o enunciado é extenso ou apresenta informações dispersas, a demanda sobre a MT tende a aumentar, podendo comprometer a progressão da resolução.

O Controle Inibitório (CI) corresponde à habilidade de suprimir respostas impulsivas ou informações irrelevantes. Conforme Diamond (2013), o CI é fundamental para manter o foco atencional e evitar que estímulos distratores interfiram na tarefa principal. Em problemas contextualizados, como os do ENEM, o estudante frequentemente se depara com narrativas longas que incluem dados acessórios. A incapacidade de inibir informações secundárias pode levar ao uso inadequado de números ou à interpretação equivocada da situação-problema. Assim, o CI atua como mecanismo de filtragem, permitindo selecionar elementos matematicamente relevantes.

A Flexibilidade Cognitiva (FC), por sua vez, refere-se à capacidade de alternar perspectivas, reformular estratégias e adaptar-se diante de obstáculos. Miyake et al. (2000) destacam que o shifting implica a transição entre conjuntos mentais distintos, possibilitando reorganizações estratégicas. Em tarefas matemáticas, a FC é mobilizada quando o estudante abandona um procedimento que não conduz à solução e adota uma nova abordagem, como reorganizar uma equação, reinterpretar uma variável ou reconsiderar a estrutura funcional do problema.

É importante ressaltar que esses três componentes não operam isoladamente. Na resolução de uma tarefa matemática contextualizada, a MT mantém as informações ativas, o CI filtra o que é relevante e a FC permite ajustes estratégicos quando necessário. A interação entre esses processos torna-se especialmente evidente em tarefas que exigem leitura atenta, interpretação de dados e articulação simbólica.

Diversos estudos empíricos têm evidenciado relações consistentes entre as funções executivas e o desempenho em matemática ao longo da escolarização (Blair & McKinnon, 2016; Santana, Roazzi, Melo, Mascarenhas, & Souza, 2019; Santana, Roazzi & Melo, 2020; Gilmore, Simsek, Eaves, & Cragg, 2024). Esses achados indicam que variações individuais no funcionamento executivo podem ajudar a compreender por que estudantes com níveis semelhantes de conhecimento matemático apresentam desempenhos distintos diante de tarefas aparentemente equivalentes.

No contexto deste estudo, parte-se do pressuposto de que diferentes níveis de carga cognitiva podem alterar as condições de mobilização dessas funções. Quando a organização textual impõe demandas excessivas, a Memória de Trabalho pode ser sobrecarregada, o Controle Inibitório pode ser insuficiente para filtrar informações e a Flexibilidade Cognitiva pode ser comprometida diante de impasses. Assim, compreender a mobilização das FE em situações reais de sala de aula contribui para analisar não apenas o desempenho final, mas os processos cognitivos envolvidos na resolução.

TEORIA DA CARGA COGNITIVA

A Teoria da Carga Cognitiva (TCC), desenvolvida por Sweller (1988) e posteriormente ampliada (Sweller, 2003, 2023), fundamenta-se na arquitetura cognitiva humana, especialmente na limitação da memória de trabalho e na relativa permanência da memória de longo prazo. Segundo esse referencial, a aprendizagem e o desempenho são influenciados pela quantidade de esforço mental exigido pela tarefa.

Sweller (1988) argumenta que a memória de trabalho possui capacidade limitada tanto em duração quanto em quantidade de elementos que podem ser processados simultaneamente. Quando a complexidade da tarefa excede essa capacidade, ocorre sobrecarga cognitiva, prejudicando o processamento eficiente da informação.

A TCC distingue três tipos de carga cognitiva:

- a) Carga intrínseca, relacionada à complexidade inerente ao conteúdo e à interatividade entre seus elementos;

- b) Carga extrínseca, decorrente da forma como a informação é apresentada;
- c) Carga pertinente (ou germânica), associada ao esforço dedicado à construção e automatização de esquemas.

A carga intrínseca depende do número de elementos inter-relacionados que precisam ser processados simultaneamente. No caso de funções polinomiais de 1º grau, por exemplo, a compreensão da relação entre variáveis, coeficientes e interpretação contextual pode gerar elevada interatividade de elementos, especialmente para estudantes com domínio conceitual limitado.

A carga extrínseca, por sua vez, não está relacionada ao conteúdo em si, mas à forma de apresentação. Textos longos, informações redundantes, ausência de destaque visual ou organização inadequada podem aumentar desnecessariamente a demanda sobre a memória de trabalho. Sweller (2003) destaca que a instrução deve buscar minimizar a carga extrínseca, permitindo que os recursos cognitivos sejam direcionados à construção de esquemas.

A carga pertinente refere-se ao esforço produtivo voltado à aprendizagem, quando os recursos cognitivos são investidos na organização e integração do conhecimento. Diferentemente da carga extrínseca, a carga pertinente é desejável.

No âmbito da Educação Matemática, estudos têm evidenciado que a estrutura dos itens de avaliação exerce influência direta sobre a carga cognitiva extrínseca. Nesse contexto, Chagas (2019) investigou os efeitos da redução da carga cognitiva extrínseca em itens de matemática do ENEM por meio de um estudo empírico com 691 estudantes distribuídos em oito localidades. Para isso, selecionou 24 itens aplicados entre 2010 e 2015 e elaborou versões modificadas de cada um deles, construindo quatro instrumentos de avaliação com diferentes proporções de itens originais e reduzidos, organizados de forma balanceada quanto à dificuldade e aplicados em condições semelhantes às do exame, com tempo controlado e questionário socioeconômico.

A análise quantitativa dos dados, baseada na comparação das taxas de acerto, indicou que a redução da carga cognitiva extrínseca melhorou o desempenho em parte dos itens (seis), embora tenha reduzido o desempenho em outros (dois), sugerindo que seus efeitos não são uniformes. Além disso, observou-se que essa redução foi, em geral, mais benéfica para as mulheres, contribuindo para diminuir diferenças de desempenho previamente favoráveis aos homens, bem como evidências de associação com variáveis socioeconômicas, como escolaridade dos pais e renda familiar. O estudo conclui que a forma de construção dos itens exerce impacto significativo no desempenho dos estudantes, indicando que aspectos estruturais e de apresentação das questões podem ser determinantes, especialmente considerando o papel do ENEM como principal via de acesso ao ensino superior no Brasil (Chagas, 2019).

Diferentes estratégias têm sido propostas para a redução da carga cognitiva extrínseca, com o objetivo de tornar as tarefas mais acessíveis sem alterar sua complexidade conceitual. Entre essas estratégias, destacam-se as técnicas sistematizadas por Gillmor, Poggio e Embretson (2015), que oferecem um conjunto de

princípios para a elaboração e adaptação de itens com menor demanda cognitiva desnecessária.

Uma dessas técnicas é a tradução ou simplificação linguística, que consiste na redução da complexidade sintática do enunciado, por meio do uso de estruturas mais diretas e de vocabulário mais acessível. Essa estratégia busca diminuir o esforço de leitura, permitindo que os recursos cognitivos sejam direcionados à compreensão matemática. Outra técnica amplamente discutida é a eliminação de informações irrelevantes, que envolve a retirada de elementos contextuais que não contribuem diretamente para a resolução do problema. De acordo com Gillmor, Poggio e Embretson (2015), a presença de informações supérfluas pode aumentar a carga sobre a memória de trabalho e exigir maior mobilização de processos de filtragem, dificultando a identificação dos dados essenciais.

A sinalização constitui outra estratégia relevante, consistindo no destaque de informações importantes por meio de recursos visuais ou estruturais, como negrito, uso de marcadores ou organização em etapas. Essa técnica orienta a atenção do estudante e reduz a necessidade de busca ativa por informações relevantes. A organização visual e estética do enunciado também desempenha papel significativo na redução da carga extrínseca. Enunciados com estrutura clara, segmentação adequada e distribuição equilibrada das informações tendem a demandar menos esforço cognitivo do que aqueles com apresentação densa ou desorganizada.

O sequenciamento das informações refere-se à apresentação dos dados em uma ordem lógica e progressiva, alinhada ao processo de resolução esperado. Quando as informações são apresentadas de forma desordenada, o estudante precisa reorganizá-las mentalmente, aumentando a carga sobre a memória de trabalho. Além disso, o uso de apoios visuais, como tabelas, gráficos e esquemas, pode contribuir para externalizar parte do processamento cognitivo, reduzindo a necessidade de manutenção simultânea de múltiplos elementos na memória de trabalho. Por fim, a simplicidade numérica constitui uma estratégia que visa evitar cálculos desnecessariamente complexos, permitindo que o foco da tarefa permaneça nos conceitos matemáticos envolvidos, e não em operações aritméticas que possam aumentar a carga cognitiva sem contribuir para a aprendizagem.

Essas técnicas, conforme discutido por Gillmor, Poggio e Embretson (2015), compartilham o princípio de que a forma de apresentação da informação influencia diretamente o esforço cognitivo exigido pela tarefa. Ao reduzir a carga cognitiva extrínseca, busca-se liberar recursos da memória de trabalho, favorecendo o processamento das relações conceituais e a construção de esquemas.

ARTICULAÇÃO ENTRE FUNÇÕES EXECUTIVAS E CARGA COGNITIVA

A articulação entre Funções Executivas (FE) e Teoria da Carga Cognitiva (TCC) permite compreender como as demandas estruturais das tarefas influenciam a mobilização dos processos cognitivos envolvidos na resolução de problemas matemáticos. Enquanto a TCC enfatiza os limites da memória de trabalho e os efeitos das diferentes cargas cognitivas sobre o desempenho (Sweller, 1988; 2003; 2023), o modelo das FE amplia essa análise ao considerar mecanismos de controle, regulação e adaptação estratégica (Miyake et al., 2000; Diamond, 2013), permitindo

interpretar não apenas a quantidade de esforço cognitivo envolvido, mas também como esse esforço é gerenciado pelo sujeito.

Nesse contexto, evidências recentes têm indicado que as Funções Executivas exercem papel central não apenas no suporte ao raciocínio matemático, mas também na mediação das interações entre o estudante e a estrutura das tarefas. Dalto (in press), ao investigar estudantes de Licenciatura em Matemática, propôs uma análise integrada entre desempenho, esforço mental percebido e funcionamento executivo, considerando a resolução de questões do ENEM em versões com diferentes níveis de carga cognitiva extrínseca. O estudo foi estruturado a partir da combinação de instrumentos padronizados para avaliação das Funções Executivas — contemplando memória de trabalho, controle inibitório e flexibilidade cognitiva — com tarefas matemáticas organizadas em versões distintas quanto à estrutura textual, possibilitando a comparação entre desempenho objetivo, tempo de resolução e indicadores subjetivos de esforço e dificuldade.

Os resultados evidenciaram que o nível de desenvolvimento das Funções Executivas está diretamente associado à forma como os estudantes respondem às variações estruturais dos itens. Participantes com menor desempenho em testes executivos apresentaram maior vulnerabilidade à carga cognitiva extrínseca, evidenciada por menores taxas de acerto e maiores níveis de esforço mental percebido quando confrontados com enunciados mais extensos ou menos organizados. Em contraste, estudantes com melhor desempenho executivo mostraram maior estabilidade diante dessas variações, sendo capazes de manter níveis de desempenho mais consistentes, mesmo em condições de maior demanda cognitiva.

Esses achados reforçam que a mobilização das FE — especialmente da memória de trabalho, do controle inibitório e da flexibilidade cognitiva — está diretamente relacionada à capacidade de lidar com demandas externas da tarefa, como a seleção de informações relevantes, a inibição de elementos distratores e a reorganização de dados apresentados de forma dispersa. Quando a carga cognitiva extrínseca é elevada, a Memória de Trabalho pode ser sobrecarregada, reduzindo a capacidade de manter e manipular informações essenciais à resolução. Simultaneamente, o Controle Inibitório tende a ser mais exigido para filtrar informações irrelevantes, e a Flexibilidade Cognitiva pode ser comprometida, especialmente quando o estudante permanece ancorado em interpretações iniciais inadequadas ou não consegue reorganizar a estrutura do problema.

Por outro lado, a redução da carga cognitiva extrínseca não altera a complexidade conceitual da tarefa — isto é, sua carga intrínseca —, mas modifica as condições de mobilização das Funções Executivas. Ao reorganizar a apresentação das informações, eliminar redundâncias e tornar mais explícitas as relações relevantes, cria-se um ambiente cognitivamente mais favorável, no qual os recursos executivos podem ser direcionados de forma mais eficiente à resolução matemática. Tal reorganização tende a beneficiar especialmente estudantes com menor desenvolvimento executivo, uma vez que reduz demandas adicionais de controle e gerenciamento cognitivo impostas pela estrutura do enunciado.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente investigação caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa proposta por Bogdan e Biklen (1994), orientada pela compreensão dos processos cognitivos mobilizados por estudantes durante a resolução de tarefas matemáticas. Tal escolha metodológica fundamenta-se na perspectiva de que o fenômeno investigado — a mobilização das Funções Executivas em situações de resolução — não pode ser adequadamente capturado por meio de indicadores exclusivamente quantitativos, exigindo a análise dos significados atribuídos pelos participantes às situações propostas e das estratégias por eles desenvolvidas ao longo da atividade.

A pesquisa foi desenvolvida em contexto de sala de aula, configurando-se como ambiente natural de investigação, no qual um dos pesquisadores também atuava como professor da turma. Esse duplo papel possibilitou acompanhar de forma próxima os processos de resolução dos estudantes, buscando compreender como estes interagiam com as tarefas propostas ao longo do tempo. Participaram da pesquisa 19 estudantes da 2ª série do Ensino Médio Integral de um colégio público estadual localizado na cidade de Londrina (PR). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UTFPR (CAAE 82569924.3.0000.0165).

O conteúdo matemático abordado correspondeu à função polinomial de 1º grau (função afim), selecionado por estar previsto no planejamento curricular do período e por sua recorrência em avaliações de larga escala, como o ENEM. A coleta de dados foi realizada a partir da aplicação de dois instrumentos compostos por cinco questões do ENEM, cada uma apresentada em duas versões: uma original e outra modificada com redução de carga cognitiva extrínseca. As modificações foram fundamentadas em estratégias descritas na literatura, especialmente aquelas sistematizadas por Gillmor, Poggio e Embretson (2015), incluindo simplificação linguística, eliminação de informações redundantes e reorganização estrutural dos enunciados.

A construção dos instrumentos envolveu a análise de provas do ENEM no período de 2009 a 2024, contemplando diferentes aplicações (primeira, segunda e terceira), com o objetivo de identificar questões relacionadas ao conteúdo de função afim que apresentassem potencial para o processo de redução da carga cognitiva extrínseca. Não foram consideradas, para fins de seleção, versões adaptadas das provas (como braille, ampliadas ou em libras). As questões selecionadas atenderam aos seguintes critérios: (i) abordagem do conteúdo de função afim; (ii) possibilidade de reestruturação sem alteração da complexidade conceitual; e (iii) adequação ao nível de escolaridade dos participantes.

Cada instrumento foi organizado em duas versões (Folha A e Folha B), estruturadas de modo a alternar a apresentação das questões em suas versões original e reduzida. Metade dos estudantes respondeu inicialmente à Folha A, enquanto a outra metade respondeu à Folha B. Após metade do tempo previsto, as folhas foram trocadas entre os grupos, de modo que todos os participantes tivessem contato com ambas as versões das questões, evitando efeitos de ordem e garantindo a comparabilidade das respostas.

A coleta de dados foi realizada em três momentos complementares. No primeiro momento, os estudantes realizaram a resolução individual das questões, dispondo de aproximadamente 50 minutos para registrar suas respostas, estratégias e interpretações. No segundo momento, os estudantes foram organizados em pequenos grupos, nos quais discutiram suas resoluções durante cerca de 35 minutos. Nessa etapa, foram orientados a não modificar os registros individuais, mas a compartilhar e discutir as estratégias adotadas. No terceiro momento, realizou-se uma discussão coletiva, com duração aproximada de 15 minutos, na qual os grupos apresentaram suas principais observações, especialmente no que se refere às diferenças e semelhanças entre as versões original e reduzida das questões.

RESULTADOS E ANÁLISE

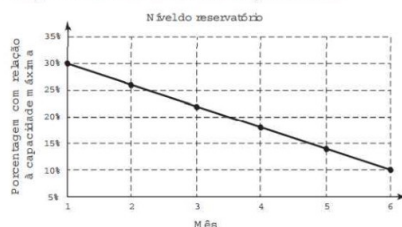
Os resultados foram construídos a partir da análise das produções escritas dos estudantes e das anotações das interações ocorridas nos três momentos da coleta — resolução individual, discussões em pequenos grupos e discussão coletiva. Em consonância com a abordagem qualitativa interpretativa, a análise concentrou-se na identificação de indícios de mobilização das Funções Executivas — Memória de Trabalho, Controle Inibitório e Flexibilidade Cognitiva — considerando, neste artigo por limitações de espaço, as condições cognitivas impostas pelas versões original e reduzida das Questões 1 e 2.

A seleção dos episódios analisados neste artigo baseou-se em seu potencial de evidenciar processos cognitivos em ação, particularmente aqueles relacionados à manutenção, organização e transformação de informações durante a resolução. Os recortes apresentados foram organizados de modo a permitir a comparação entre as versões da questão e as produções dos estudantes, conforme ilustrado na Figura 1 para a Questão 1 e Figura 2 para a Questão 2.

Figura 1

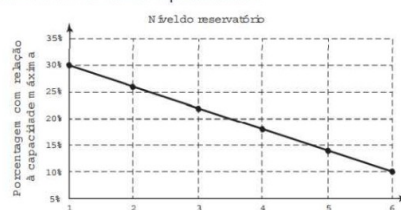
Questão 1 em sua versão original (B) e com carga cognitiva reduzida (A)

O nível de água de um reservatório foi monitorado por um período, e o resultado é mostrado no gráfico abaixo. Suponha que essa tendência linear continue pelos próximos meses. Nas condições dadas, qual o tempo mínimo, após o sexto mês, para que o reservatório atinja o nível zero da sua capacidade?



(A) carga cognitiva reduzida

Um dos grandes desafios do Brasil é o gerenciamento dos seus recursos naturais, sobretudo os recursos hídricos. Existe uma demanda crescente por água e o risco de racionamento não pode ser descartado. O nível de água de um reservatório foi monitorado por um período, sendo o resultado mostrado no gráfico. Suponha que essa tendência linear observada no monitoramento se prolongue pelos próximos meses. Nas condições dadas, qual o tempo mínimo, após o sexto mês, para que o reservatório atinja o nível zero de sua capacidade?



(B) carga cognitiva original

Fonte: Paula (2026).

A Questão 1 (Figura 1) envolve a interpretação de um gráfico linear associado a uma função afim, requerendo do estudante a identificação da taxa de variação e a extrapolação da reta além do intervalo representado para determinar o instante em que o nível atinge zero. Trata-se de uma tarefa que mobiliza habilidades esperadas para estudantes do Ensino Médio, particularmente no que se refere à leitura de representações gráficas e à identificação de padrões de variação.

Entretanto, a análise comparativa das versões do enunciado evidencia que, embora a estrutura conceitual da tarefa permaneça inalterada, há diferenças relevantes nas demandas cognitivas associadas à sua leitura e compreensão. Na versão original, observa-se a presença de informações textuais redundantes, que reiteram verbalmente aspectos já explicitados no gráfico. Essa redundância não contribui diretamente para a resolução, mas exige processamento adicional por parte do estudante, aumentando a carga cognitiva extrínseca.

A versão reduzida, elaborada a partir do método de Tradução, reorganiza o enunciado por meio da simplificação linguística, da eliminação de redundâncias e da substituição de termos potencialmente ambíguos — como “se prolongue” por “continue”. Essas modificações não alteram o conteúdo matemático da tarefa nem suas alternativas, mas reconfiguram as condições de acesso às informações, tornando mais explícita a estrutura da situação-problema.

A Figura 2 apresenta a Questão 2 que envolve o conceito de função afim a partir da comparação entre dois planos (A e B), cada um podendo ser representado por uma função linear. Para sua resolução, o estudante precisa identificar as expressões associadas a cada plano, realizar substituições de valores e comparar os custos resultantes, de modo a determinar a melhor opção em função de uma determinada quantidade. Ainda que não haja representações gráficas, a tarefa mobiliza a análise de variação linear e a relação entre coeficientes e valores assumidos pela variável, conteúdos com os quais os estudantes já tiveram contato no Ensino Médio.

Figura 2

Questão 2 em sua versão original (B) e com carga cognitiva reduzida (A)

Uma empresa de entregas oferece dois planos:

- Plano A: taxa fixa de R\$ 500,00 por mês + R\$ 4,00 por quilograma enviado.
- Plano B: taxa fixa de R\$ 200,00 por mês + R\$ 6,00 por quilograma enviado.

Um fabricante precisa enviar 650 quilogramas de mercadoria em 6 meses. Qual das alternativas avalia corretamente a decisão de o fabricante escolher o plano B?

(A) A decisão foi boa, pois o plano B custará ao todo R\$ 500,00 a menos do que o plano A custaria.

Uma empresa de entregas presta serviços para outras empresas que fabricam e vendem produtos. Os fabricantes dos produtos podem contratar um entre dois planos oferecidos pela empresa que faz as entregas. No plano A, cobra-se uma taxa fixa mensal no valor de R\$ 500,00, além de uma tarifa de R\$ 4,00 por cada quilograma enviado (para qualquer destino dentro da área de cobertura). No plano B, cobra-se uma taxa fixa mensal no valor de R\$ 200,00, porém a tarifa por cada quilograma enviado sobe para R\$ 6,00. Certo fabricante havia decidido contratar o plano A por um período de 6 meses. Contudo, ao perceber que ele precisará enviar apenas 650 quilogramas de mercadoria durante todo o período, ele resolveu contratar o plano B.

Qual alternativa avalia corretamente a decisão final do fabricante de contratar o plano B?

(A) A decisão foi boa para o fabricante, pois o plano B custará ao todo R\$ 500,00 a menos do que o plano A custaria.

(A) carga cognitiva reduzida

(B) carga cognitiva original

Fonte: Paula (2026).

Do ponto de vista estrutural, a versão original da questão apresenta uma descrição longa e densa, com informações distribuídas ao longo do texto, o que

pode aumentar a demanda sobre a Memória de Trabalho ao exigir a manutenção simultânea de múltiplos elementos para posterior comparação. A versão reduzida foi elaborada a partir do método de Tradução, com a retirada de trechos considerados redundantes incluindo expressões presentes tanto no enunciado quanto nas alternativas — como a repetição da expressão “para o fabricante”. Além disso, partes do enunciado foram reorganizadas em forma de tópicos promovendo uma estrutura mais clara e segmentada das informações.

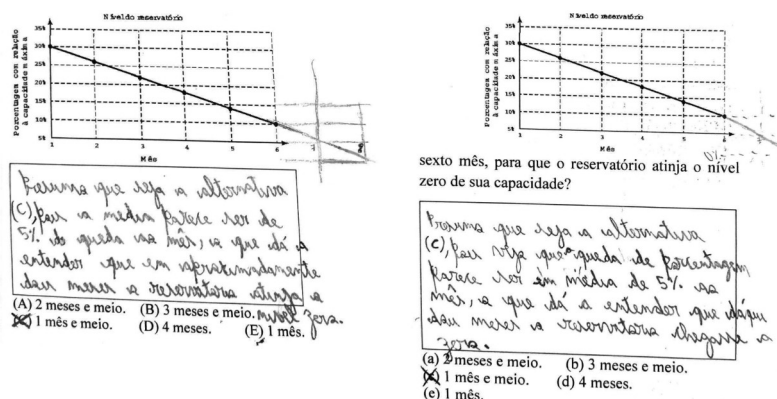
Essa reorganização não altera o conteúdo matemático nem a natureza da tarefa, mas modifica sua apresentação, facilitando a identificação e comparação dos dados necessários à resolução. Mesmo sem o uso de imagens, a disposição em tópicos contribui para uma organização visual mais eficiente, podendo ser interpretada como uma estratégia de redução de carga cognitiva extrínseca associada à dimensão estética, na medida em que favorece a clareza lógica e a navegação pelas informações.

MEMÓRIA DE TRABALHO

A análise das produções do estudante E5 evidencia que a resolução da tarefa depende de uma coordenação contínua entre a leitura do gráfico e a construção de inferências sobre o comportamento da função. Conforme Figura 3, em ambas as versões, o estudante mobiliza uma estratégia baseada na extrapolação da tendência linear, assumindo uma taxa média de variação de aproximadamente 5% ao mês. Esse procedimento implica a manutenção ativa de informações extraídas do gráfico e sua transformação em uma regra de variação que pode ser aplicada para além do intervalo representado. Trata-se, portanto, de um processo que envolve a Memória de Trabalho não apenas como espaço de armazenamento temporário, mas como sistema de manipulação e integração de informações.

Figura 3

Resolução de E5 para as duas versões da Questão 1: em sua versão original (A) e com carga cognitiva reduzida (B)



Transcrição: Presumo que seja a alternativa (c), pois a média parece ser de 5% de queda ao mês, o que dá a entender que em aproximadamente dois meses o reservatório atinja o nível zero.

(A) carga cognitiva original

Transcrição: Presumo que seja a alternativa (c), pois vejo que a queda de porcentagem parece ser em média de 5% ao mês, o que dá a entender que daqui dois meses o reservatório chegasse a zero

(B) carga cognitiva reduzida

Fonte: Paula (2026).

A comparação entre as produções revela, no entanto, diferenças na forma como esse processo é conduzido. Na versão original, a justificativa apresentada pelo estudante é mais extensa e menos linear, sugerindo a necessidade de maior esforço para coordenar as informações provenientes do enunciado e do gráfico. A presença de elementos textuais adicionais parece introduzir uma carga cognitiva que compete com os recursos necessários à elaboração do raciocínio.

Na versão reduzida, por sua vez, a explicação torna-se mais direta e alinhada ao núcleo do problema, indicando uma organização mais eficiente do processo cognitivo. Essa diferença não se traduz em mudança de estratégia, mas em uma alteração na economia do processamento: os mesmos recursos cognitivos são mobilizados, porém de forma mais focalizada e com menor dispersão.

Um aspecto particularmente relevante refere-se à forma como o estudante simplifica implicitamente a situação ao assumir uma taxa média constante. Esse procedimento reduz a complexidade do problema, limitando o número de elementos que precisam ser mantidos simultaneamente na Memória de Trabalho. Tal simplificação pode ser interpretada como uma estratégia de gerenciamento cognitivo, que permite estabilizar o raciocínio e garantir sua continuidade.

CONTROLE INIBITÓRIO

No que se refere ao Controle Inibitório, a análise da Questão 1 indica que sua mobilização está associada à necessidade de regular a relevância informacional em um contexto no qual o enunciado apresenta elementos redundantes em relação à representação gráfica. Diferentemente de situações em que há presença de dados explicitamente distratores, neste caso a demanda inibitória emerge da necessidade de selecionar entre informações semanticamente equivalentes, distribuídas em diferentes formatos (texto e gráfico).

A natureza da tarefa exige que o estudante identifique a tendência linear a partir do gráfico e a utilize para realizar uma extrapolação. No entanto, na versão original do enunciado, essa mesma informação é parcialmente reiterada no texto, o que introduz uma duplicação informacional. Tal duplicação não altera o conteúdo matemático, mas amplia a quantidade de elementos que precisam ser considerados e, potencialmente, inibidos durante a resolução.

Embora o estudante E5 (Figura 3) não utilize estratégias explícitas de marcação ou filtragem do enunciado, sua resolução indica uma seleção implícita das informações relevantes, priorizando o gráfico como principal fonte de dados para a construção do raciocínio. Nesse sentido, a ausência de referência às informações textuais redundantes sugere que tais elementos não foram incorporados ao processo de resolução, o que pode ser interpretado como um indício de regulação da relevância informacional. Mais do que um esforço adicional de filtragem, o que se observa é uma orientação direta para os elementos centrais da tarefa, especialmente na versão reduzida, na qual essa priorização parece ocorrer de forma mais imediata.

Esse comportamento pode ser interpretado como um indício de seleção implícita de informações relevantes, na medida em que o estudante orienta sua resolução a partir da representação gráfica, sem mobilizar explicitamente os elementos textuais adicionais. Tal seleção não se manifesta por meio de estratégias

observáveis de filtragem — como grifos ou marcações —, mas pela própria estrutura da resposta, que se mantém centrada na relação entre variação e extrapolação.

A comparação entre as versões permite qualificar esse processo. Na versão original, a presença de informações redundantes amplia o conjunto de elementos potencialmente relevantes, exigindo do estudante a definição implícita de um foco para a resolução. Na versão reduzida, a eliminação dessas redundâncias torna mais explícita a estrutura da tarefa, favorecendo uma orientação mais direta para os dados centrais. Nesse sentido, a diferença entre as versões não indica necessariamente maior ou menor capacidade inibitória do estudante, mas sim uma alteração nas condições em que a regulação da relevância informacional ocorre.

Outro aspecto relevante refere-se à ausência de interferências na resolução. Mesmo na versão original, não se observam desvios interpretativos ou utilização inadequada de informações, o que sugere que o estudante consegue manter o foco nos elementos pertinentes à tarefa. Esse dado é particularmente importante, pois indica que a presença de informações redundantes não compromete o raciocínio deste estudante, embora possa alterar as condições de processamento.

Uma análise dos dados da Questão 2 permite ampliar as interpretações anteriores ao Controle Inibitório. Enquanto, na Questão 1, a regulação da relevância informacional se manifesta de forma implícita — por meio da priorização do gráfico em detrimento de elementos textuais redundantes —, na Questão 2 esse mesmo processo torna-se mais visível, especialmente nas estratégias adotadas pelos estudantes para lidar com a densidade informacional do enunciado, conforme observado pela Figura 4.

Figura 4

Resolução de E9 para as duas versões da Questão 2: em sua versão original (A) e com carga cognitiva reduzida (B)

Uma empresa de entregas presta serviços para outras empresas que fabricam e vendem produtos. Os fabricantes dos produtos podem contratar um entre dois planos oferecidos pela empresa que faz as entregas. No plano A, cobra-se uma taxa fixa mensal no valor de R\$ 500,00, além de uma tarifa de R\$ 4,00 por cada quilograma enviado (para qualquer destino dentro da área de cobertura). No plano B, cobra-se uma taxa fixa mensal no valor de R\$ 200,00, porém a tarifa por cada quilograma enviado sobe para R\$ 6,00. Certo fabricante havia decidido contratar o plano A por um período de 6 meses. Contudo, ao perceber que ele precisará enviar apenas 650 quilogramas de mercadoria durante todo o período, ele resolveu contratar o plano B.

Qual alternativa avalia corretamente a decisão final do fabricante de contratar o plano B?

500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
100	x 6	600
500	x 6	3000
400	x 6	2400
200	x 6	1200
10		

No caso do estudante E9 (Figura 4), a utilização de marcações no texto — como grifos e circulações — indica uma tentativa explícita de selecionar informações relevantes em um enunciado mais extenso. Diferentemente da Questão 1, em que a redundância informacional se apresenta de forma mais sutil, a Questão 2 exige uma atuação mais ativa do estudante no processo de filtragem, tornando mais evidente a mobilização do Controle Inibitório. Já na versão reduzida da mesma questão, a diminuição dessas marcações sugere que a reorganização do enunciado reduz a necessidade de seleção ativa, uma vez que a estrutura da informação passa a orientar mais diretamente a atenção do estudante.

Essa comparação permite qualificar a interpretação da Questão 1. Ainda que, nesse caso, não se observem estratégias explícitas de filtragem, os dados sugerem que a seleção de informações relevantes também está presente, embora de forma menos visível. Assim, a ausência de marcações ou intervenções no texto não indica ausência de Controle Inibitório, mas uma condição em que a demanda de filtragem é menor ou mais implicitamente resolvida.

FLEXIBILIDADE COGNITIVA

No que se refere à Flexibilidade Cognitiva, a análise da Questão 1 indica que sua mobilização ocorre de forma menos explícita do que a Memória de Trabalho e o Controle Inibitório, manifestando-se sobretudo na capacidade de projetar e adaptar o raciocínio a partir de uma regularidade identificada, bem como na continuidade das ações diante de uma situação que exige ir além do que está diretamente representado.

A natureza da tarefa — interpretar um gráfico linear e extrapolar a reta para determinar o instante em que o nível atinge zero — requer que o estudante não apenas leia a informação disponível, mas reorganize essa informação em um novo contexto (além do intervalo representado). Nesse sentido, a Flexibilidade Cognitiva não se expressa por alternância entre múltiplas estratégias, mas pela capacidade de estender um padrão identificado a uma situação não explicitamente dada.

Esse processo pode ser observado nas produções do estudante E5, apresentadas na Figura 3. Em ambas as versões, o estudante identifica a tendência linear e projeta mentalmente o comportamento da reta, assumindo uma queda média de aproximadamente 5% ao mês. Essa projeção implica uma reorganização da informação: o gráfico, inicialmente restrito a um intervalo temporal específico, passa a ser interpretado como representativo de um comportamento contínuo, que pode ser estendido para além dos dados apresentados.

Um primeiro indício de Flexibilidade Cognitiva está, portanto, na passagem da leitura para a projeção. O estudante não se limita a descrever o gráfico, mas transforma a informação visual em uma regra de variação, que é então aplicada em um novo contexto. Essa operação exige a capacidade de reinterpretar a representação inicial e adaptá-la às exigências da tarefa.

Um segundo indício pode ser observado na forma como o estudante estabiliza essa regra de variação. Ao assumir uma taxa média constante, E5 simplifica a situação, reduzindo a necessidade de considerar possíveis variações locais no gráfico. Essa simplificação não está explicitada no enunciado, mas emerge como uma forma de reorganizar cognitivamente o problema. Tal procedimento pode ser

interpretado como uma adaptação estratégica que permite ao estudante operar com um modelo mais manejável da situação, favorecendo a continuidade do raciocínio.

Um terceiro aspecto pode ser identificado na ausência de mudança de estratégia, que, neste caso, não indica rigidez cognitiva, mas adequação da estratégia inicial às demandas da tarefa. A manutenção do procedimento de extrapolação sugere que o estudante reconhece rapidamente a natureza do problema e não necessita testar alternativas. Nesse sentido, a Flexibilidade Cognitiva se manifesta como capacidade de sustentar uma estratégia eficaz, sem a necessidade de reconfigurações sucessivas.

Embora, na Questão 1, a Flexibilidade Cognitiva se manifeste predominantemente por meio da projeção e estabilização de uma estratégia — como observado no caso do estudante E5, que extrapola a tendência linear do gráfico sem necessidade de mudança de procedimento —, a articulação com dados da Questão 2 permite ampliar a compreensão desse processo, evidenciando sua manifestação em contextos de ruptura e retomada do raciocínio.

No caso do estudante E8 (Figura 5), a versão original da Questão 2 é marcada por uma interrupção explícita do processo de resolução, expressa na fala “me perdi no texto, tô sem raciocínio”. Nessa condição, não se observa apenas dificuldade de manutenção de informações, mas uma impossibilidade momentânea de dar continuidade à ação cognitiva. Já na versão reduzida da mesma questão, o estudante passa a registrar cálculos e tentativas de resolução, indicando uma retomada do processo e a reentrada na atividade.

Figura 5

Resolução de E8 para as duas versões da Questão 2: em sua versão original (A) e com carga cognitiva reduzida (B)

me perdi no texto, tô sem raciocínio

Transcrição: Me perdi no texto, tô sem raciocínio

500
200
300

- (A) A decisão foi boa, pois o plano B custará R\$ 500,00 a menos que o plano A.
(B) A decisão foi boa, pois o plano B custará R\$ 1.500,00 a menos que o plano A.
(C) A decisão foi ruim, pois o plano B custará R\$ 1.000,00 a mais que o plano A.
(D) A decisão foi ruim, pois o plano B custará R\$ 1.300,00 a mais que o plano A.
(E) A decisão foi ruim, pois o plano B custará R\$ 6.000,00 a mais que o plano A.

(A) carga cognitiva original

(B) carga cognitiva reduzida

Fonte: Paula (2026).

Esse movimento — de interrupção para retomada — constitui um indício relevante de Flexibilidade Cognitiva, não no sentido de alternância entre estratégias distintas, mas como capacidade de reorganizar a atividade cognitiva após um bloqueio inicial. Diferentemente do que se observa na Questão 1, em que a estratégia de E5 é mantida de forma estável desde o início, a Questão 2 evidencia situações em que o estudante precisa reconstruir o ponto de partida da resolução.

A comparação entre as duas questões permite, assim, distinguir duas formas complementares de manifestação da Flexibilidade Cognitiva: na Questão 1, ela se expressa como projeção e continuidade do raciocínio a partir de uma regularidade identificada; na Questão 2, como retomada e reorganização da atividade após interrupção. Em ambos os casos, a redução da carga cognitiva extrínseca modifica as condições em que essa flexibilidade é exercida.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos neste estudo permitem aprofundar a compreensão da relação entre a estrutura das tarefas matemáticas e a mobilização das Funções Executivas, evidenciando que o desempenho dos estudantes não pode ser interpretado exclusivamente a partir do domínio conceitual, mas deve ser analisado à luz das condições cognitivas impostas pela organização dos enunciados.

Sabe-se que a Memória de Trabalho, o Controle Inibitório e a Flexibilidade Cognitiva atuam de forma integrada na resolução de problemas (Miyake et al., 2000; Diamond, 2013). Os dados analisados indicam que essa integração não ocorre de maneira estática, mas é sensível às características estruturais da tarefa. Em particular, a comparação entre versões original e reduzida das questões evidencia que a reorganização do enunciado altera as condições de mobilização desses processos.

Sob a ótica da Teoria da Carga Cognitiva (Sweller, 1988; 2003), tais resultados podem ser interpretados como efeito da redução da carga cognitiva extrínseca. As modificações realizadas — como simplificação linguística, eliminação de redundâncias e reorganização visual — não alteram a complexidade conceitual das tarefas (carga intrínseca), mas reduzem demandas desnecessárias associadas ao processamento da informação. Nesse sentido, os dados corroboram o princípio central da teoria: a forma de apresentação da informação influencia diretamente o uso dos recursos da memória de trabalho.

Essa interpretação é consistente com os achados de Chagas (2019), que demonstram que alterações estruturais em itens do ENEM podem impactar o desempenho dos estudantes. No presente estudo, entretanto, observa-se um avanço analítico ao evidenciar não apenas diferenças de desempenho, mas diferenças nos processos cognitivos mobilizados durante a resolução. Assim, enquanto Chagas (2019) aponta efeitos quantitativos da redução da carga extrínseca, os resultados aqui apresentados contribuem ao explicitar os mecanismos cognitivos subjacentes a esses efeitos.

No que se refere especificamente às Funções Executivas, os dados indicam que a redução da carga cognitiva extrínseca parece atuar como um fator que reorganiza a distribuição de demandas cognitivas. A Memória de Trabalho, por exemplo, deixa de ser intensamente solicitada para manter e coordenar informações dispersas, podendo ser direcionada à manipulação das relações matemáticas relevantes. De modo semelhante, o Controle Inibitório passa a operar em um contexto com menor competição informacional, reduzindo a necessidade de filtragem ativa. Já a Flexibilidade Cognitiva, embora não necessariamente exija mudanças de estratégia, manifesta-se em condições mais favoráveis à continuidade ou retomada do raciocínio.

Essa interpretação dialoga diretamente com os resultados apresentados por Dalto (in press), que evidenciam que estudantes da licenciatura em matemática com menor desenvolvimento executivo são mais sensíveis a variações na carga cognitiva extrínseca. Ainda que o presente estudo não tenha como foco a mensuração direta das Funções Executivas, os dados qualitativos indicam que a reorganização do enunciado pode atuar como um mecanismo de compensação cognitiva, reduzindo a dependência de processos executivos mais exigentes e favorecendo a resolução da tarefa.

Outro aspecto relevante diz respeito ao papel das representações visuoespaciais. Na Questão 1, a interpretação do gráfico e sua extrapolação exigem a coordenação entre informações visuais e inferências sobre variação, mobilizando a Memória de Trabalho em sua dimensão visuoespacial. Nesse sentido, os resultados dialogam com estudos que indicam a importância das habilidades visuoespaciais para o desempenho em matemática, especialmente em tarefas que envolvem representação gráfica e manipulação de imagens mentais (Lowrie, Logan & Ramful, 2017; Mix, 2019).

Essa relação é aprofundada no estudo de Dalto e Paula (2026), no qual se evidencia que a resolução de questões do ENEM frequentemente envolve estratégias de visualização, ainda que essas não sejam suficientes, por si só, para garantir o sucesso na tarefa. Os resultados aqui apresentados reforçam essa perspectiva ao indicar que, mesmo em tarefas com forte componente visuoespacial, o desempenho depende da articulação entre diferentes processos cognitivos, incluindo as Funções Executivas e o conhecimento matemático prévio.

Além disso, observa-se que a reorganização do enunciado pode favorecer a mobilização de estratégias visuoespaciais ao reduzir interferências textuais. Ao tornar mais explícita a estrutura da tarefa, a versão reduzida permite que o estudante direcione sua atenção para a representação gráfica, facilitando a identificação de padrões de variação e a construção de inferências. Esse resultado sugere que a redução da carga cognitiva extrínseca pode potencializar não apenas o processamento executivo, mas também o uso de representações visuoespaciais na resolução de problemas.

De forma mais ampla, os resultados permitem inferir que o desempenho em tarefas matemáticas emerge da interação entre dois conjuntos de fatores: (i) características individuais, particularmente relacionadas às Funções Executivas; e (ii) características estruturais da tarefa, associadas à carga cognitiva extrínseca. Essa perspectiva integrada, já apontada por Dalto (in press), é reforçada pelos dados qualitativos aqui apresentados, que evidenciam como pequenas alterações na organização do enunciado podem produzir mudanças significativas nas condições de resolução.

Os resultados também apresentam implicações para a Educação Matemática ao evidenciar que a estrutura das tarefas constitui um elemento relevante para a compreensão dos processos de resolução de problemas. Mais do que uma questão de apresentação, a organização das informações pode influenciar as condições cognitivas em que os estudantes interpretam, selecionam e articulam os dados necessários à resolução. Nessa perspectiva, a elaboração de tarefas e instrumentos avaliativos pode se beneficiar de estratégias que reduzam demandas cognitivas desnecessárias, sem alterar a complexidade conceitual dos conteúdos

envolvidos. Além disso, os achados reforçam a importância de considerar que parte das dificuldades e erros dos estudantes pode estar associada não apenas ao conhecimento matemático, mas também às características estruturais das tarefas. Assim, a articulação entre Funções Executivas, Teoria da Carga Cognitiva e Educação Matemática amplia as possibilidades de compreensão dos processos envolvidos na aprendizagem e na resolução de problemas matemáticos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou compreender como a organização estrutural de tarefas matemáticas interfere nas condições cognitivas de sua resolução, com ênfase na relação entre carga cognitiva extrínseca e mobilização das Funções Executivas em contexto escolar. Ao privilegiar uma análise qualitativa dos processos de resolução, a investigação permitiu acessar dimensões do desempenho que não se reduzem ao acerto ou erro, mas que se manifestam na forma como os estudantes interagem com as tarefas.

Um dos principais aportes deste estudo reside na explicitação de que a influência da estrutura do enunciado não se limita a facilitar ou dificultar a compreensão inicial da tarefa, mas atua na configuração do próprio percurso cognitivo de resolução. Nesse sentido, o trabalho avança ao propor uma leitura do desempenho matemático como resultado de uma dinâmica entre organização da informação e funcionamento executivo, evidenciando que a forma como as informações são disponibilizadas aos estudantes participa ativamente da configuração dos processos de resolução.

Em relação às pesquisas já realizadas, este estudo amplia o escopo das investigações sobre carga cognitiva ao deslocar o foco de análises centradas no desempenho para uma abordagem orientada aos processos. Enquanto estudos anteriores evidenciam efeitos da redução da carga extrínseca em termos de acertos, os resultados aqui apresentados contribuem ao indicar como esses efeitos se materializam na atividade cognitiva em sala de aula, oferecendo elementos para compreender os mecanismos implicados nessa relação. Do mesmo modo, ao articular a Teoria da Carga Cognitiva com o campo das Funções Executivas, o estudo contribui para uma aproximação teórica ainda pouco explorada de forma empírica na Educação Matemática.

Do ponto de vista educacional, os resultados reforçam que a estrutura das tarefas influencia as condições cognitivas em que a atividade matemática é realizada. Nesse sentido, os achados sugerem que decisões relacionadas à organização e apresentação das informações podem contribuir para reduzir demandas cognitivas desnecessárias, favorecendo o engajamento dos estudantes em tarefas matematicamente exigentes. Tais resultados oferecem subsídios para a elaboração de tarefas e instrumentos avaliativos mais sensíveis às condições cognitivas envolvidas na aprendizagem matemática.

Entretanto, os resultados devem ser interpretados à luz de algumas limitações. A análise concentrou-se em um conjunto específico de tarefas e em um número reduzido de participantes, o que restringe a generalização dos achados. Além disso, a ausência de medidas diretas das Funções Executivas limita a possibilidade de estabelecer relações mais precisas entre desempenho e

funcionamento cognitivo, uma vez que as inferências realizadas se baseiam em evidências indiretas provenientes das produções dos estudantes. Soma-se a isso a variabilidade dos registros escritos, que, em alguns casos, não permitiram acesso detalhado aos processos de resolução. Outra limitação refere-se à ausência de protocolos verbais, entrevistas ou estratégias de resolução em voz alta (think-aloud), que poderiam fornecer evidências mais diretas sobre os processos cognitivos mobilizados pelos estudantes durante a resolução das tarefas, permitindo compreender com maior profundidade os mecanismos envolvidos na manutenção, seleção e reorganização das informações ao longo da atividade.

Diante disso, futuras pesquisas podem aprofundar essa agenda por meio da integração de diferentes metodologias, combinando análise qualitativa com instrumentos padronizados de avaliação cognitiva. Investigações que ampliem o número e a diversidade das tarefas, bem como o perfil dos participantes, podem contribuir para validar e refinar os achados aqui apresentados. Além disso, estudos que explorem intervenções pedagógicas baseadas na reorganização estrutural de tarefas podem oferecer evidências adicionais sobre os impactos dessas estratégias no ensino e na aprendizagem de Matemática.

Este estudo contribui para o campo da Educação Matemática ao evidenciar que compreender o desempenho matemático exige considerar não apenas o que o estudante sabe, mas também em que condições cognitivas esse conhecimento é mobilizado. Ao destacar o papel da estrutura das tarefas nesse processo, reforça-se a importância de uma abordagem que articule aspectos cognitivos e didáticos, ampliando as possibilidades de investigação e intervenção na Educação Matemática.

REFERÊNCIAS

- Blair, C. & McKinnon, R. D. (2016). Moderating effects of executive functions and the teacher–child relationship on the development of mathematics ability in kindergarten. *Learning and Instruction*, 41, 85–93.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.10.001>
- Bogdan, R., & Biklen, S. (1994). *Investigação qualitativa em educação: Uma introdução à teoria e aos métodos*. Porto Editora.
- Braga, D. G. A., & Dalto, J. O. (2025). Funções executivas na resolução de equação do 1º grau: Um estudo com estudantes do 8º ano. *Ensino e Tecnologia em Revista*, 9(3), 740–754. <https://doi.org/10.3895/etr.v9n3.20620>
- Cassano, A. R., Muzzio, A. L., & Góes, A. R. T. (2022). Investigando indícios do desenho universal e desenho universal para aprendizagem em pesquisas que abordam jogos na matemática. *Actio: Docência em Ciências*, 7(3), 1–23.
<https://doi.org/10.3895/actio.v7n3.15301>
- Chagas, E. A. (2019). *Desempenho em itens de matemática do ENEM: Carga cognitiva e sexo* (Tese de doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física “Gleb Wataghin”.
<https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2019.1094041>
- Cunha, B. V. M., & Dalto, J. O. (2025). Ensino de matemática para alunos com TDAH: Possibilidades de adaptações de tarefas a partir do perfil neuropsicológico do aluno. *Em Teia: Revista de Educação Matemática e Tecnológica Iberoamericana*, 16(1), 110–129. <https://doi.org/10.51359/2177-9309.2025.266105>
- Dalto, J. O. (in press). Funções Executivas e Carga Cognitiva na Resolução de Itens do ENEM. *Zetetiké*.
- Dalto, J. O., & Paula, G. P. (2026). Memória de trabalho visuoespacial e desempenho em matemática: Explorando relações a partir de questões do ENEM. *Perspectivas da Educação Matemática*, 19(53).
<https://doi.org/10.46312/vw649w36>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Gillmor, S. C., Poggio, J., & Embretson, S. E. (2015). Effects of reducing the cognitive load of mathematics test items on student performance. *Numeracy*, 8(1).
<https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1163&context=numeracy>
- Gilmore, C., Simsek, E., Eaves, J., & Cragg, L. (2024). The role of cognitive and applied executive function skills in learning rational number knowledge. *Learning and Individual Differences*, 110, Article 102408.
<https://doi.org/10.1016/j.lindif.2024.102408>

- Lowrie, T., Logan, T., & Ramful, A. (2017). Visuospatial training improves elementary students' mathematics performance. *British Journal of Educational Psychology*, 87(2), 170–186. <https://doi.org/10.1111/bjep.12142>
- Mix, K. S. (2019). Why are spatial skill and mathematics related? *Child Development Perspectives*, 13(2), 121–126. <https://doi.org/10.1111/cdep.12323>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Onuchic, L. de la R., & Allevato, N. S. G. (2011). Pesquisa em resolução de problemas: Caminhos, avanços e novas perspectivas. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, 25(41), 73–98. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/bolema/article/view/5739>
- Paula, G. P. de. (2026). *Funções executivas e redução de carga cognitiva extrínseca em questões de matemática do ENEM: Um estudo em uma turma do Ensino Médio* (Dissertação de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná). <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/39587>
- Rosa, C. T. W. da, & Schmitz, K. de O. (2020). A metacognição nas pesquisas em educação: Uma revisão a partir das teses e dissertações brasileiras. *Actio: Docência em Ciências*, 5(2), 1–22. <https://doi.org/10.3895/actio.v5n2.10676>
- Santana, A. N., Roazzi, A., & Melo, M. R. A. (2020). Os três componentes executivos básicos e o desempenho matemático escolar. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, 101(259), 649–669. <https://doi.org/10.24109/2176-6681.rbep.101i259.4137>
- Santana, A. N., Roazzi, A., Melo, M. R. A., Mascarenhas, S. A. N., & Souza, B. C. (2019). Funções executivas e matemática: Explorando relações. *Revista AMAzônica*, 23(1), 130–151.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285.
- Sweller, J. (2003). *Cognitive load theory: A special issue of Educational Psychologist*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Sweller, J. (2023). The development of cognitive load theory: Replication crises and incorporation of other theories can lead to theory expansion. *Educational Psychology Review*, 35, Article 95. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09817-2>

Recebido: 30 mar. 2026
Aprovado: 15 jun. 2026
DOI: <https://doi.org/10.3895/actio.v11n3.21632>

Como citar:

Dalto, J. O. & Paula, G. P. de (2026). Funções executivas e carga cognitiva: uma experiência em sala de aula com questões do ENEM. *ACTIO*, 11(3), 1-24. <https://doi.org/10.3895/actio.v11n3.21632>

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



Received: Mar. 30, 2026
Approved: Jum. 15, 2026
DOI: <https://doi.org/10.3895/actio.v11n3.21632>

How to cite:

Dalto, J. O. & Paula, G. P. de (2026). Executive functions and cognitive load: a classroom-based experience with ENEM items. *ACTIO*, 11(3), 1-24. <https://doi.org/10.3895/actio.v11n3.21632>

Copyright: This article is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International Licence.

