ISSN 2525-6580, Serrinha, Bahia - v.11, n.3, 2026. https://doi.org/10.59033/cm.v11i3.2238.
Anais do Seminário Nacional de Inclusão na Perspectiva da Acessibilidade (SENIA)

RESUMO EXPANDIDO / EXTENDED ABSTRACT

UM ESTUDO SOBRE PROCESSAMENTO COGNITIVO PARA A FALA SINTETIZADA DE EXPRESSÕES MATEMÁTICAS PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

A STUDY ON COGNITIVE PROCESSING FOR THE SYNTHESIZED SPEECH OF MATHEMATICAL EXPRESSIONS FOR VISUALLY IMPAIRED PEOPLE

Adriana Silva Souza[1]*, Diamantino Freitas[2]

[1] Analista de Tecnologia da Informação do Instituto Federal da Bahia *Campus* Porto Seguro – Ba - Brasil. Email:
*Autor para correspondência: adriana@ifba.edu.br.
[2] Professor Associado (Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores), Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto – Porto, Portugal.

Recebido: 22/03/2026 - **Revisado**: 09/06/2026 - **Aceito**: 27/06/2026 - **Publicado**: 30/07/2026

RESUMO: A Matemática falada ainda é um processo complexo para estudantes com deficiência visual, pois apresenta ambiguidades e dificulta a compreensão. Por outro lado, a verbalização rigorosa e detalhada produz saídas longas e pode ocasionar sobrecarga cognitiva. Algumas pesquisas indicam que pessoas videntes e pessoas com deficiência visual utilizam os mesmos mecanismos cognitivos para processar e armazenar informações. Estudos de rastreamento ocular têm contribuído para a compreensão de processos cognitivos envolvidos na aprendizagem matemática. Essa pesquisa propôs um estudo experimental com a técnica de rastreamento ocular para investigar como pessoas videntes processam cognitivamente expressões matemáticas, buscando indicadores para fundamentar uma proposta de um modelo de navegação interativa para síntese de fala. As métricas analisadas indicam que o processamento cognitivo de expressões matemáticas é influenciado principalmente pela complexidade estrutural e pela diversidade de símbolos matemáticos, e a repetição no rastreamento funciona como um mecanismo de reforço de memória. Diante disso, concluiu-se que é necessário um modelo de navegação interativa para a fala sintetizada da matemática que considere os limites da memória de trabalho, o reforço auditivo direcionado e a personalização da carga cognitiva.

Palavras-chave: Matemática. Fala Sintetizada. Processo Cognitivo. Deficiência Visual.

ABSTRACT: Spoken mathematics is still a complex process for visually impaired students, as it presents ambiguities and hinders comprehension. On the other hand, rigorous and detailed verbalization produces lengthy outputs and may lead to cognitive overload. Some studies indicate that sighted individuals and people with visual impairments use the same cognitive mechanisms to process and store information. Eye-tracking studies have contributed to the understanding of cognitive processes involved in mathematical learning. This research proposed an experimental study using eye-tracking techniques to investigate how sighted individuals cognitively process mathematical expressions, seeking indicators to support the development of an interactive navigation model for speech synthesis. The analyzed metrics indicate that the cognitive processing of mathematical expressions is mainly influenced by structural complexity and the diversity of mathematical symbols, while repetition in eye-tracking functions as a memory reinforcement mechanism. Therefore, it was concluded that an interactive navigation model for synthesized mathematical speech is necessary, taking into account the limits of working memory, targeted auditory reinforcement, and the personalization of cognitive load.

Este trabalho está licenciado sob uma Licença Internacional Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

Keywords: Mathematics. Speech synthesis. Cognitive process. Visual impairment.

INTRODUÇÃO

A leitura em voz alta de expressões matemáticas pode parecer um processo simples para quem tem acesso à representação visual. No entanto, para ouvintes que não dispõem desse suporte, especialmente estudantes com deficiência visual, a Matemática falada pode apresentar ambiguidades que dificultam a compreensão. Durante a leitura oral, é comum que leitores omitam elementos estruturais importantes, como parênteses ou marcadores lexicais, por parecerem desnecessários ou por tornarem a leitura mais rápida e natural (Isaacson *et al*., 2010). Contudo, para pessoas com deficiência visual, a verbalização precisa ser mais rigorosa e detalhada, pois interpretações imprecisas de símbolos e estruturas podem gerar erros nos cálculos e comprometer o processo de aprendizagem.

Apesar disso, a síntese de fala para conteúdos matemáticos ainda enfrenta desafios importantes. A verbalização detalhada pode produzir saídas auditivas longas, aumentando a carga cognitiva do ouvinte. Além disso, a matemática possui estruturas específicas que nem sempre são adequadamente representadas por recursos prosódicos, como pausas e entonação (Bates & Fitzpatrick, 2010a). Segundo Bates e Fitzpatrick e Souza e Freitas (2010a; 2022), compreender expressões matemáticas requer controle sobre sua representação temporal, pois leitores videntes costumam revisitar diferentes partes da expressão durante a leitura.

A audição, entretanto, é essencialmente linear e unidirecional, o que exige o desenvolvimento de estratégias que permitam a leitura matemática sem ambiguidades ou sobrecarga cognitiva (Bates; Fitzpatrick, 2010b). Nesse contexto, estudos de rastreamento ocular têm contribuído para a compreensão de processos cognitivos envolvidos na aprendizagem matemática (Curtis, Huebner; LeFevre, 2016; Strohmaier *et al*., 2020).

Pesquisas indicam ainda que pessoas videntes e pessoas com deficiência visual utilizam mecanismos cognitivos semelhantes para processar e

Cadernos Macambira - ISSN 2525-6580, Serrinha, Bahia - v.11, n. 3, p. e011032238, 2026.
https://doi.org/10.59033/cm.v11n3.2238 - Anais do Seminário Nacional de Inclusão na Perspectiva da Acessibilidade (SENIA).

armazenar informações (Ochaita; Rosa, 1988; Röder, Rösler; Neville, 2001). Assim, este estudo propõe investigar, por meio de rastreamento ocular com participantes videntes, como expressões matemáticas são observadas e processadas, buscando gerar subsídios para o desenvolvimento de modelos mais eficientes de síntese de fala para conteúdos matemáticos.

O presente estudo tem como objetivo identificar e analisar, por meio da técnica de rastreamento ocular, o processamento cognitivo, assim como formas de memorização de expressões matemáticas por pessoas videntes, buscando indicadores para fundamentar uma proposta de um modelo de navegação interativa para síntese de fala, focado em otimizar a autonomia e a acessibilidade de conteúdos matemáticos para pessoas com deficiência visual.

METODOLOGIA

A presente investigação caracteriza-se como um estudo experimental de natureza quantitativa e exploratória (Gil, 2002), baseado na técnica de rastreamento ocular (eye-tracking) (Strohmaier *et al*., 2020). O objetivo foi analisar a relação entre a complexidade de expressões matemáticas, o processamento cognitivo e os padrões de repetição necessários para a memorização de subexpressões.

A amostra inicial foi composta por 12 voluntários, que assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) por meio de formulário digital e responderam a um questionário sociodemográfico antes do início do experimento.

O estudo foi conduzido com o auxílio de um computador com monitor LED de 24 polegadas, um eyetracker Gazepoint GP3 e o software proprietário da Gazepoint para coleta e armazenamento dos dados. Foram utilizadas sete expressões matemáticas de níveis fundamental e médio, envolvendo frações, raízes, potências, logaritmos e trigonometria, organizadas em escala crescente de complexidade e apresentadas em fonte Cambria Math, tamanho 60.

As sessões ocorreram individualmente, com duração média de 15 a 20 minutos. Inicialmente, foram apresentados os objetivos do estudo e realizado o

Cadernos Macambira - ISSN 2525-6580, Serrinha, Bahia - v.11, n. 3, p. e011032238, 2026.
https://doi.org/10.59033/cm.v11n3.2238 - Anais do Seminário Nacional de Inclusão na Perspectiva da Acessibilidade (SENIA).

posicionamento do participante a aproximadamente 50 cm do monitor. Em seguida, foi realizada uma calibração de cinco pontos para garantir a precisão da captura do olhar. Posteriormente, as expressões matemáticas foram apresentadas em slides, enquanto o sistema registrava as fixações e sacadas oculares durante o processamento das expressões.

Os dados coletados foram posteriormente filtrados para extração de métricas de processamento cognitivo, buscando responder três questões de pesquisa: a relação entre complexidade e processamento cognitivo, a quantidade de elementos matemáticos que podem ser armazenados na memória de curto prazo e o número de repetições necessárias para memorizar expressões ou subexpressões matemáticas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados baseou-se em métricas de rastreamento ocular e em testes estatísticos realizados com o software Real Statistics (Zaiontz, 2022). Foram considerados a duração da fixação do olhar, a duração média da fixação e a quantidade de pontos de fixação, indicadores utilizados para avaliar o processamento cognitivo de expressões matemáticas (Andrá *et al*., 2015; Hartmann, 2015; Kohlhase; Kohlhase, 2021).

Para correlacionar os dados utilizou-se o coeficiente de Spearman, com nível de significância $\alpha = 0,05$. Observou-se uma correlação forte, positiva e estatisticamente significativa entre a complexidade da expressão matemática e a duração média da fixação ($CS = 0,82$; $p = 0,02$), indicando que o aumento da complexidade estrutural e simbólica eleva o tempo necessário para o processamento cognitivo.

Por outro lado, não foi encontrada correlação significativa entre a quantidade de elementos de uma expressão e o processamento cognitivo ($p = 0,21$), sugerindo que a dificuldade está mais associada à natureza das operações — como frações, raízes e potências — do que ao número de símbolos.

Também foi identificada uma correlação inversa extremamente forte entre

Cadernos Macambira - ISSN 2525-6580, Serrinha, Bahia - v.11, n. 3, p. e011032238, 2026.
https://doi.org/10.59033/cm.v11n3.2238 - Anais do Seminário Nacional de Inclusão na Perspectiva da Acessibilidade (SENIA).

o grau de confiança dos participantes e a necessidade de repetição da leitura (CS = -0,91; p = 0,005), indicando que maior familiaridade com a simbologia matemática reduz a necessidade de repetição.

Não foi possível definir um número padrão de repetições, pois a diversidade de símbolos demonstrou influenciar significativamente o processamento. A análise qualitativa revelou ainda que a repetição atua como estratégia de reforço de memória direcionada a subexpressões mais complexas. Em cenários de baixa complexidade, observou-se que os participantes conseguem armazenar aproximadamente até dez símbolos matemáticos na memória de curto prazo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação demonstrou que o processamento cognitivo de expressões matemáticas é influenciado principalmente pela complexidade estrutural e pela diversidade de símbolos, e não apenas pela quantidade de elementos presentes na expressão. Além disso, a correlação inversa entre o grau de confiança dos participantes e a necessidade de repetição indica que a familiaridade com a simbologia matemática e a clareza na recepção da informação são fatores importantes para reduzir a sobrecarga cognitiva.

Os resultados também sugerem que a memória de trabalho opera com maior eficiência em cenários de baixa complexidade, permitindo o armazenamento simultâneo de aproximadamente dez símbolos matemáticos. Observou-se ainda que a repetição funciona como um mecanismo de reforço de memória direcionado, concentrando-se em subexpressões específicas que apresentam maior dificuldade de interpretação.

Com base nesses achados, propõe-se um modelo de navegação interativa para a fala sintetizada da matemática, voltado a usuários com deficiência visual. Esse modelo fundamenta-se em três princípios principais: (A) segmentação da informação, permitindo que as expressões matemáticas sejam exploradas em partes menores, considerando a complexidade e os limites da memória de trabalho; (B) gerenciamento da repetição, possibilitando reforço

Cadernos Macambira - ISSN 2525-6580, Serrinha, Bahia - v.11, n. 3, p. e011032238, 2026.
https://doi.org/10.59033/cm.v11n3.2238 - Anais do Seminário Nacional de Inclusão na Perspectiva da Acessibilidade (SENIA).

auditivo direcionado apenas às subexpressões mais complexas; e (C) personalização da carga cognitiva, ajustando o ritmo e a profundidade da exploração de acordo com o nível de familiaridade do usuário com a simbologia matemática.

Dessa forma, o modelo proposto busca favorecer não apenas o acesso à informação matemática, mas também seu processamento e memorização de maneira mais eficiente, contribuindo para a superação das barreiras impostas pela natureza bidimensional e complexa da linguagem matemática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÁ, C.; LINDSTRÖM, P.; ARZARELLO, F.; HOLMQVIST, K.; ROBUTTI, O.; SABENA, C. Reading mathematics representations: an eye-tracking study. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 13, p. 237–259, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s10763-013-9484-y.

BATES, E.; FITZPATRICK, D. Spoken mathematics using prosody, earcons and spearcons. In: BERTINO, E.; GAO, W.; STEFFEN, B.; YOUG, M. (Eds.). **Lecture Notes in Computer Science**. Berlin; Heidelberg: Springer, 2010a. v. 6180, p. 407–414. Disponível em: https://link.springer.com/series/558. Acesso em: 15 mar. 2026.

BATES, E.; FITZPATRICK, D. Spoken mathematics using prosody, earcons and spearcons: visual and audible representations of mathematical material. In.: MIESENBERGER, K., KLAUS, J., ZAGLER, W., KARSHMER, A. (Eds). **Computers Helping People with Special Needs**. ICCHP, 2010b. Lecture Notes in Computer Science, vol 6180. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-14100-3_61.

CURTIS, E. T.; HUEBNER, M. G.; LEFEVRE, J.-A. The relationship between problem size and fixation patterns during addition, subtraction, multiplication, and division. **Journal of Numerical Cognition**, v. 2, n. 2, 2016. DOI: https://doi.org/10.5964/jnc.v2i2.17.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HARTMANN, M. Numbers in the eye of the beholder: what do eye movements reveal about numerical cognition? **Cognitive Processing,** v. 16, p. 245–248, 2015. DOI: https://doi.org/10.5964/jnc.v2i2.17.

HOLMQVIST, K.; NYSTRÖM, M.; ANDERSSON, R.; DEWHURST, R.; JARODZKA, H.; VAN DE WEIJER, J. **Eye tracking**: a comprehensive guide to methods and measures. Oxford: OUP Oxford, 2011.

ISAACSON, M. D.; SRINIVASAN, S.; LLOYD, L. L. Development of an algorithm for improving quality and information processing capacity of MathSpeak synthetic speech renderings. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology,** v. 5, n. 2, p. 83–93, 2010. DOI: https://doi.org/10.3109/17483100903387226.

KOHLHASE, A.; KOHLHASE, M. Conceptual design for an eye-tracking experiment on formula linebreaking. In: **Conference on Intelligent Computer Mathematics (CICM 2021).** 14. ed., 2021. Disponível em: https://ceur-ws.org/Vol-3377/mathui2.pdf. Acesso em: 15 mar. 2026.

OCHAITA, E.; ROSA, A. Estado actual de la investigación en psicología de la ceguera. **Journal for the Study of Education and Development**, v. 11, n. 41, p. 53–62, 1988. DOI: https://doi.org/10.1080/02103702.1988.10822189.

RÖDER, B.; RÖSLER, F.; NEVILLE, H. J. Auditory memory in congenitally blind adults: a behavioral-electrophysiological investigation. **Cognitive Brain Research**, v. 11, n. 2, p. 289–303, 2001. DOI: https://doi.org/10.1016/s0926-6410(01)00002-7.

SOUZA, A.; FREITAS, D. Towards the improvement of the cognitive process of the synthesized speech of mathematical expression in MathML: an eye-tracking. 2022. p. 1–8. DOI: https://doi.org/10.1109/IMET54801.2022.9929541.

STROHMAIER, A. R.; MACKAY, K. J.; OBERSTEINER, A.; REISS, K. M. Eye-tracking methodology in mathematics education research: a systematic literature review. **Educational Studies in Mathematics**, v. 104, n. 2, p. 147–200, 2020. https://doi.org/10.1007/s10649-020-09948-1.

ZAIONTZ, C. **Real statistics using Excel.** 2015. Software. Disponível em: http://www.realstatistics.com/free-download/. Acesso em: 2 mai. 2022.