

Acessibilidade de Fórmulas Matemáticas em Artigos Científicos na Web para Pessoas com Deficiência Visual no Ensino Superior

Eduardo Augusto Ribeiro¹, Saimon Gabriel de Andrade¹, André Pimenta Freire¹

¹Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil, CEP 37200-900

eduardoaugustoribeiro8@gmail.com, saimonandrade84@gmail.com

apfreire@ufla.br

Abstract. *Accessibility in digital content is essential for educational inclusion, especially in higher education, where access to mathematical formulas in scientific articles still represents a major challenge for people with visual impairments. This study aims to evaluate the accessibility of mathematical formulas present in scientific articles. The methodology adopted involved the technical inspection of formulas in different publishers, using tests with the NVDA and JAWS screen readers. The results show some positive scenarios, but also highlight important limitations in the reading and interpretation of these contents. The importance of standardization and appropriate interaction techniques to promote inclusion is demonstrated.*

Resumo. *A acessibilidade em conteúdos digitais é fundamental para a inclusão educacional, especialmente no ensino superior, onde o acesso a fórmulas matemáticas em artigos científicos ainda representa um grande desafio para pessoas com deficiência visual. Este estudo tem como objetivo avaliar a acessibilidade de fórmulas matemáticas presentes em artigos científicos. A metodologia adotada envolveu a inspeção técnica de fórmulas em diferentes editoras, utilizando testes com os leitores de tela NVDA e JAWS. Os resultados mostram alguns cenários positivos, mas também destacam limitações importantes na leitura e interpretação desses conteúdos. Mostra-se a importância de uma padronização e de técnicas de interação adequadas para promover a inclusão.*

1. Introdução

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), aproximadamente 2,2 bilhões de pessoas no mundo vivem com algum grau de deficiência visual [WHO 2023]. No ambiente digital, o World Wide Web Consortium (W3C) define a acessibilidade como a capacidade de acessar, navegar, perceber e interagir com o conteúdo, independente de limitações funcionais [W3C 2024]. No contexto educacional, a acessibilidade é fundamental para garantir que todos os estudantes, independentemente de suas habilidades ou limitações, tenham igualdade de oportunidades de aprendizagem.

O avanço dos meios digitais transformou a forma como o conhecimento é produzido, divulgado e acessado, sobretudo no contexto acadêmico e científico. Plataformas digitais, revistas eletrônicas e repositórios online ampliaram significativamente o

alcance da informação, proporcionando maior agilidade e democratização do conhecimento. No entanto, a inclusão de aspectos de acessibilidade nesses recursos ainda é um desafio [Martins et al. 2022], fazendo com que parte da população continue excluída do acesso à informação. Essa barreira limita tanto o avanço acadêmico quanto a inclusão de pessoas com deficiência.

Entre as áreas mais impactadas por essa exclusão digital, destaca-se a matemática. Similarmente, em disciplinas como a programação de computadores, estudantes com deficiência visual enfrentam desafios significativos devido à dependência de notações visuais complexas e a falta de acessibilidade nas ferramentas digitais [Zen et al. 2024]. Ambas as áreas exigem notações simbólicas densas e hierárquicas que, quando convertidas para o meio digital, exigem codificação cuidadosa para preservar o significado. Embora haja avanços em plataformas de publicação, a representação e a navegação em fórmulas e códigos ainda representam um desafio significativo para estudantes e pesquisadores com deficiência visual.

Diversas tecnologias assistivas buscam mitigar esses obstáculos, como os leitores de tela e o Braille. O Braille, embora valioso, enfrenta limitações quando o conteúdo matemático tende a ser longo, linear e potencialmente ambíguo, já que fórmulas bidimensionais precisam ser representadas de forma totalmente linear, sobrecarregando o usuário cognitivamente [Maćkowski et al. 2023]. A transcrição de materiais de Matemática para Braille não é uma atividade simples, pois muitas das convenções usadas são peculiares para se tornarem compatíveis com as características da escrita Braille [Dias et al. 2018].

No universo dos leitores de tela para computadores, um estudo realizado periodicamente indicou que em 2024 as ferramentas mais utilizadas foram o NonVisual Desktop Access (NVDA) e o Job Access With Speech (JAWS) [WebAIM 2024]. O NVDA, gratuito e de código aberto, oferece excelente suporte à leitura de textos comuns [NV Access 2025], mas ainda apresenta dificuldades ao lidar com fórmulas matemáticas. Para esses casos, recursos complementares como plugins podem ampliar sua funcionalidade. Um exemplo é o Access8Math, que acoplado ao NVDA possibilita ao usuário navegar, interpretar e compreender conteúdos matemáticos de forma fidedigna [Access8Math Team 2025].

O JAWS, software proprietário, é conhecido por oferecer recursos avançados, como a navegação detalhada de fórmulas matemáticas [Freedom Scientific 2025]. Todavia, estudos apontam que essa maior sofisticação pode vir acompanhada de uma complexidade operacional que exige maior esforço cognitivo por parte dos usuários [da Paixão Silva et al. 2017].

Ainda é fundamental que as fórmulas matemáticas apresentadas em formato digital sejam corretamente estruturadas para oferecer suporte eficaz às tecnologias assistivas. Existem diferentes abordagens programáticas para alcançar esse objetivo, como o uso de Mathematical Markup Language (MathML) [W3C 2014], MathJax [MathJax Consortium 2025], LaTeX que são diferentes maneiras de expressar e dar significado a fórmulas matemáticas em um site usando HTML. Outra opção ainda disponível é o uso de imagens acompanhadas de texto alternativo (alt-text).

No entanto, a eficácia dessas soluções varia conforme a forma como são implementadas e combinadas. Por exemplo, embora imagens com texto alternativo possam

transmitir a ideia geral de uma fórmula, elas não permitem navegação interativa dentro da expressão, o que limita a compreensão em tarefas mais complexas. Já o uso de MathML, quando bem implementado, proporciona aos leitores de tela uma navegação estruturada dentro da fórmula, facilitando sua interpretação.

Dado esse contexto, o avanço das publicações científicas em meios digitais possibilitou a disseminação global do conhecimento. No entanto, esse progresso traz consigo um desafio central, garantir que fórmulas matemáticas complexas sejam verdadeiramente acessíveis em diferentes plataformas e para todos os públicos.

Assim, o objetivo deste estudo é avaliar a acessibilidade de fórmulas matemáticas complexas em revistas eletrônicas acadêmicas, utilizando diferentes leitores de tela disponíveis no mercado.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta trabalhos relacionados, com estudos sobre acessibilidade para uso de fórmulas matemáticas. Na Seção 3 é apresentada a metodologia utilizada no trabalho. A Seção 4 apresenta os resultados das análises, enquanto a Seção 5 apresenta as discussões. Finalmente, a Seção 6 apresenta conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Este estudo foi desenvolvido com base em contribuições anteriores que abordam a acessibilidade em publicações científicas e matemáticas. Nesta seção são apresentados alguns estudos sobre o tema.

Sojka et al. descrevem as tecnologias desenvolvidas no âmbito do European Digital Mathematics Library (EuDML) e do Czech Digital Mathematics Library (DML-CZ) para aumentar a acessibilidade de documentos matemáticos. O trabalho aborda o pré-processamento de PDFs, incluindo extração via Optical Character Recognition (OCR) e conversão para MathML, além da geração de diferentes formatos acessíveis, como Braille e HTML com MathML, sendo esta última uma das tecnologias analisadas neste estudo [Sojka et al. 2013].

Wang et al. mostram os problemas de acessibilidade em PDFs. Foram analisados 11.397 documentos publicados entre 2010 e 2019, dos quais apenas 2,4% atenderam a critérios mínimos de acessibilidade. O estudo introduz o sistema SciA11y, que utiliza modelos de aprendizado de máquina para converter PDFs em HTML acessível. Uma avaliação indicou que a maioria das renderizações HTML (87%) apresentaram boa legibilidade, e um estudo qualitativo com usuários ressaltou a eficácia do sistema proposto [Wang et al. 2021]. Em contrapartida, o presente estudo apresenta uma análise da acessibilidade em publicações científicas em seu formato original, com foco em fórmulas matemáticas complexas, investigando como elas são representadas em HTML em trabalhos já publicados.

Mejía et al. apresentam um apanhado das ferramentas de software disponíveis para pessoas com deficiência visual interagirem com conteúdo matemático. O estudo categoriza ferramentas em dois tipos, um de consumo de documentos e outro de criação e edição de conteúdo. Além disso, discute as vantagens e limitações de formatos como MathML, LaTeX e SpeechRuleEngine [Mejía et al. 2021], recursos estes utilizados nas publicações eletrônicas, e que são abordados neste estudo com uma visão do quanto

isso pode ajudar ou prejudicar pessoas com deficiência visual, quando se deparam com fórmulas utilizando este tipo de tecnologia.

Howell et al. exploram o uso de multimídia interativa para o ensino e a apresentação de conceitos matemáticos. No contexto de acessibilidade, o trabalho demonstra como interfaces multimodais podem apoiar leitores de tela e expandir as formas de navegação de fórmulas, mostrando que essa abordagem têm a capacidade de reduzir a frustração e o esforço do usuário ao navegar por conteúdos matemáticos [Howell et al. 2023]. O estudo visa melhorar o aprendizado de matemática utilizando ferramentas para apoiar leitores de tela. Nosso estudo utiliza os leitores de tela como ferramenta de análise e verifica o seu desempenho em formulas matemáticas complexas.

3. Metodologia

Para verificar a conformidade de leitura de fórmulas matemáticas das revistas de publicações eletrônicas, a pesquisa seguiu uma sequência de etapas bem definidas.

Como primeiro passo, foram escolhidas as editoras que possuíam publicações de artigos científicos com conteúdo matemático. Para realização da busca das editoras, foi utilizado o site Scimago Journal & Country Rank SJR [SCImago Lab 2025]. A escolha das editoras foi com base no atributo SJR (Scimago Journal Rank), que identifica a qualidade das publicações dentro do site. Foram escolhidas apenas editoras com SJR Q2 ou superior para revistas internacionais, com exceção da revista Scielo, que foi adicionada ao estudo pelos autores por se tratar de uma base brasileira e como forma de comparação de como ela se comporta em relação às demais.

Após esse filtro, foram aplicados critérios pré-definidos para escolha dos artigos, sendo eles: ter sua publicação feita em formato digital e em HTML, sendo excluídas aquelas que tinham apenas em formato PDF; e conter fórmulas matemáticas complexas.

Ao final desse processo foram escolhidas nove editoras, sendo elas Springer [Springer 2025], De Gruyter [De Gruyter 2025], Taylor & Francis [Taylor & Francis 2025], Cambridge [Cambridge University Press 2025], Elsevier [Elsevier 2025], Wiley [Wiley 2025], MDPI [MDPI 2025], SciELO [SciELO 2025], e Frontiers [Frontiers 2025]. Para cada editora, foi selecionado um artigo publicado de 2023 a 2025. A escolha foi feita pelos autores, abrindo pagina por pagina das editoras e verificando se esses requisitos eram satisfeitos.

Em cada artigo selecionado, foi escolhida uma fórmula matemática para análise, com ênfase na diversidade e complexidade do conteúdo matemático apresentado. A seleção foi realizada com base na diversidade estrutural e semântica no contexto educacional, como frações, potências, equações diferenciais, somatórios e integrais. A escolha dessas fórmulas teve como critério seu potencial de provocar desafios na leitura por estudantes com deficiência visual, especialmente aqueles que utilizam leitores de tela para acompanhar conteúdos didáticos. Dessa forma, a amostra visou representar situações reais enfrentadas em contextos de ensino e aprendizagem, permitindo avaliar não apenas a presença das fórmulas, mas principalmente sua acessibilidade e potencial pedagógico quando lidas por tecnologias assistivas.

A avaliação da corretude na leitura das fórmulas foi conduzida com o auxílio de leitores de tela, utilizados por dois avaliadores (os dois primeiros autores), a fim de

verificar como essa tecnologia assistiva interpreta conteúdos matemáticos em ambientes digitais. Para essa etapa, foram escolhidos dois leitores de tela: o NVDA, por ser gratuito e amplamente acessível, e o JAWS, uma solução comercial bastante consolidada. No caso do NVDA, utilizou-se em conjunto o complemento Access8Math, uma vez que, em sua versão padrão, o leitor não possui suporte nativo para leitura de fórmulas matemáticas. O JAWS, por se tratar de um software pago, foi utilizado na versão de demonstração, que permite sessões gratuitas de até 40 minutos, o que foi suficiente para a realização dos testes planejados. Os avaliadores são estudantes de mestrado sem deficiência visual, com experiência de mais de dois anos de atuação em avaliações de acessibilidade digital.

Ambos os leitores de tela utilizados oferecem recursos que permitem capturar em formato de texto o conteúdo que está sendo lido. No caso do NVDA, foi utilizado o recurso chamado Visualizador de Fala, que exibe em tempo real o texto correspondente à leitura realizada pelo leitor. Já o JAWS, embora não apresente esse retorno em tempo real, conta com a funcionalidade Histórico de Fala, que armazena em texto toda a interação do leitor com o conteúdo anterior à abertura do histórico. As informações extraídas por esses recursos foram coletadas e documentadas para cada acompanhadas de uma captura de tela da equação correspondente e do seu código, obtido diretamente da página do artigo.

Além disso, os dois leitores também contam com um modo que permite a navegação dentro da fórmula, onde, em vez de lida diretamente do início ao fim sem pausas, os usuários podem ler o conteúdo em segmentos menores. No JAWS este recurso é chamado de Visualizador de Matemática, onde a fórmula é exibida em uma nova janela isoladamente, e a navegação passa a ser somente na janela até que o usuário escolha sair e voltar a leitura de onde parou. Já no NVDA com o plugin Access8Math, este recurso é chamado de Modo Interativo, onde segue uma ideia parecida com a do JAWS, porém não é exibida uma nova janela com a fórmula. São utilizados atalhos de teclado para interagir com o conteúdo ou sair desse modo, e continuar a leitura normalmente de onde parou. As informações extraídas por esses recursos foram analisadas no momento da coleta das fórmulas e comparadas com a leitura sem utilizar este modo.

O MathJax, uma biblioteca JavaScript amplamente utilizada para renderizar fórmulas matemáticas em páginas web, também oferece um recurso próprio de navegação por partes da equação. No entanto, este recurso não foi incluído na análise deste estudo por não ser um recurso do próprio leitor de telas, mas um recurso que funciona de forma independente e paralela ao leitor de telas.

Os testes foram conduzidos no ambiente Windows 11 utilizando o Google Chrome na versão 136.0.7103.116 (64 bits, versão oficial). A versão dos leitores de tela utilizados foi 2025.2505.43 para o JAWS e 2024.4.2 (compilação 2024.4.2.35031) para o NVDA.

3.1. Aspectos éticos

Este trabalho não envolveu pesquisas com participantes. O trabalho envolveu somente inspeções feitas pelos autores.

4. Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos durante a análise das fórmulas. Ela é organizada com base nos tipos de marcação de conteúdo utilizados por cada editora com exemplos de cada caso.

A Tabela 1 apresenta uma visão geral das nove editoras selecionadas para o estudo, acompanhada do título do artigo analisado em cada caso e do tipo de marcação matemática utilizado na codificação das fórmulas presentes nos respectivos conteúdos. Nos parágrafos a seguir, são apresentados de forma mais detalhada os resultados obtidos durante a avaliação das fórmulas agrupados pelo tipo de marcação utilizada em cada editora, considerando a leitura realizada pelos dois leitores de tela utilizados no estudo: NVDA (com o complemento Access8Math) e JAWS.

Tabela 1. Tipo de marcação utilizada nos artigos analisados

Revista / Editora	Nome do Artigo	Tipo de Marcação Utilizada
Springer	<i>Reflectionally asymmetric solutions of the Hénon equation in unbounded domains</i> [Kajikiya 2025]	MathJax gerando MathML
De Gruyter	<i>Singular Trudinger–Moser inequalities for the Aharonov–Bohm magnetic field</i> [Wang 2025]	MathJax gerando MathML
Taylor & Francis	<i>Global refined Fujita-Kato solution of 3-D inhomogeneous incompressible Navier-Stokes equations</i> [Abidi et al. 2025]	MathJax com aria-label prioritário
Cambridge	<i>A Shelah group in ZFC</i> [Poór and Rinot 2025]	MathJax gerando MathML
Elsevier	<i>An integrated mathematical epidemiology and inventory model for high demand and limited supplies</i> [Garcia et al. 2025]	MathJax gerando MathML
Wiley	<i>Individuals Strategies and Predator–Prey Game Models in Deterministic and Random Settings</i> [Yuan et al. 2025]	MathJax com data-semantic-speech
MDPI	<i>Improved Splitting-Integrating Methods for Image Geometric Transformations</i> [Huang et al. 2025]	MathJax gerando MathML
SciELO	<i>Simuladores de órbitas relativísticas como apoio ao ensino de Relatividade Geral</i> [Nunes et al. 2023]	MathJax gerando MathML
Frontiers	<i>Analysis of differences in fossil fuel consumption in the world based on the fractal time series and complex network</i> [Zhang et al. 2024]	MathJax gerando MathML

4.1. MathJax gerando MathML

Dentre as nove editoras analisadas, seis adotam um formato semelhante de marcação para a apresentação de fórmulas matemáticas, com MathJax que gera MathML: Frontiers, Springer, Scielo, De Gruyter, MDPI e Elsevier. Embora compartilhem o mesmo padrão de marcação, foram observadas diferenças pontuais relacionadas à complexidade e ao tamanho das fórmulas utilizadas nos artigos, o que influencia diretamente na experiência de leitura com leitores de tela. A seguir, apresentamos um exemplo representativo de ambos os casos.

Fórmulas consideradas complexas, mas relativamente curtas, como ilustrado na Figura 1, apresentaram bom desempenho no Visualizador de Matemática do JAWS. Nesse leitor de tela, foi possível navegar entre os elementos da expressão preservando sua estrutura semântica, permitindo ao usuário compreender o significado completo da fórmula por meio da navegação interativa.

$$-\Delta u = |x|^\lambda u^p, \quad u > 0 \quad \text{in } \Omega, \quad u = 0 \quad \text{on } \partial\Omega,$$

Figura 1. Fórmula retirada da editora Springer

No caso do NVDA, em conjunto com o complemento Access8Math, o comportamento foi ligeiramente diferente. Embora o modo interativo também permita a leitura por partes, similar ao JAWS, a leitura não se inicia diretamente pelo primeiro elemento da fórmula. Antes disso, o leitor realiza uma análise estrutural do conteúdo, informando, por exemplo, se a fórmula contém múltiplas linhas. Após esse anúncio estrutural, o NVDA tende a ler a fórmula completa de forma corrida, o que pode dificultar o entendimento, especialmente em expressões mais densas, essa abordagem compromete a fluidez da leitura,

A leitura segmentada no NVDA só se torna eficaz após o usuário navegar até o primeiro elemento lógico da fórmula no exemplo da Figura 1, o sinal negativo. A partir desse ponto, a navegação interativa transcorre adequadamente, permitindo a exploração da fórmula sem maiores dificuldades.

$$\hat{W}_{ij} = \begin{cases} ' * ' & \text{with } G_q, \text{ if } \Phi_{ij} \geq 1 - \frac{1}{2(q-1)}, \\ ' * ' & \text{with } G_k, \text{ if } \frac{k - \frac{3}{2}}{q-1} \leq \Phi_{ij} < \frac{k - \frac{1}{2}}{q-1}, \quad k = 2, 3, \dots, q-1, \\ ' ', & \text{if } \Phi_{ij} < \frac{1}{2(q-1)}, \end{cases}$$

Figura 2. Fórmula retirada da editora MDPI

Quando a fórmula começa a ficar grande ou mais complexa os resultados são um pouco diferentes neste modo em ambos os leitores. Na Figura 2 é apresentado uma equação matemática presente em um artigo na editora MDPI onde o JAWS não consegue ler mesmo reconhecendo a presença de uma fórmula matemática quando seu foco chega nela. Já no caso do NVDA com o Access8Math, ele continua apresentando o mesmo problema citado anteriormente, porém dessa vez mesmo chegando no primeiro item da equação a leitura ainda continua truncada. A seguir, é apresentado um exemplo dessa leitura no trecho da segunda linha “‘*’ with G sub k,” na Figura 2:

NVDA:

1 * prime 2 * vezes 3 * prime 4 * 5 * 6 * with 7 * 8 * G sub k 9 *

$$t_n^{(k-1)} = t_0^{(k-1)} + n \cdot h_k \in \left[t_0^{(k-1)}, t_{N_k}^{(k-1)} \right), \quad t_{N_{k-1}}^{(k-1)} := t^{(k)},$$

$$n = 0, \dots, N_k, \quad k = 1, \dots, M.$$

Figura 3. Fórmula retirada da editora Elsevier

Já em alguns casos, ambos os leitores conseguem desempenhar um bom papel, como na fórmula da figura 3 do artigo presente na editora Elsevier. A seguir é apresentado um exemplo da leitura de ambos os leitores:

Jaws:

An integrated mathematical epidemiology and inventory model for high demand and limited supplies under uncertainty - ScienceDirect - Google Chrome Visualizador de Matemática navegação por equação Para se mover entre expressões parciais, pressione as setas. Para interagir com uma tabela, pressione Enter. $t_{n \text{ sub } k}^{(k-1)} = t_{0 \text{ sub } k}^{(k-1)} + n \cdot h_{\text{sub } k} [t_{0 \text{ sub } k}^{(k-1)}, t_{N_{k-1} \text{ sub } k}^{(k-1)}], t_{N_{k-1} \text{ sub } k}^{(k-1)} := t \text{ to the power of } (k),$

NVDA:

Entrando no modo de interação t com n sub abre parêntese k menos 1 fecha parêntese super igual t com 0 sub abre parêntese k menos 1 fecha parêntese super mais n ponto operador h sub k pertence abre colchete t com 0 sub abre parêntese k menos 1 fecha parêntese super , t com N sub k sub abre parêntese k menos 1 fecha parêntese super fecha parêntese , t com N com k menos 1 sub sub abre parêntese k menos 1 fecha parêntese super dois pontos igual t com abre parêntese k fecha parêntese super ,

Por outro lado, é importante considerar que nem todos os usuários desejam interagir detalhadamente com as fórmulas matemáticas durante a leitura. Em muitos casos, especialmente no contexto educacional, seria desejável que a fórmula pudesse ser ouvida de forma completa e fluida, como parte da leitura contínua do texto. Neste cenário, durante os testes realizados, foram identificados alguns problemas na forma como os leitores de tela lidam com esse tipo de leitura.

No caso do JAWS, ao encontrar a fórmula apresentada na Figura 1, o leitor de tela reconhece que se trata de um conteúdo matemático, porém não realiza automaticamente sua leitura, isso obriga o usuário a acionar manualmente a ferramenta de visualização de matemática oferecida pelo próprio JAWS, apenas para saber qual é a fórmula em questão. Esse processo interrompe o fluxo natural da leitura do artigo e pode representar uma barreira para usuários com menor familiaridade com recursos avançados do leitor.

Já no caso do NVDA utilizando o complemento Access8Math, um comportamento diferente é apresentado. Além de reconhecer a presença da fórmula, ele tenta

fazer a leitura de seu conteúdo de forma automática, mas o resultado não é satisfatório. A leitura ocorre de maneira confusa, com pausas inadequadas e pouca clareza na pronúncia dos elementos matemáticos, o que torna difícil compreender o significado ou o propósito da fórmula apenas ouvindo sua leitura. A seguir, reproduzimos um exemplo da saída gerada por esse leitor.

NVDA:

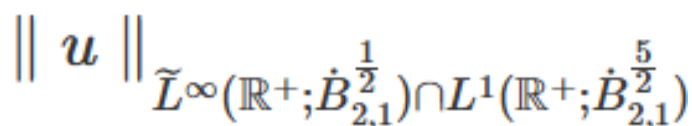
clicável tabelapossuillinha1coluna linha1 coluna1* 1* negativo 2* Delta maiúsculo 3* u 4* igual 5* barra 6* x 7* barra super Lambda 8* u para p potência 9* , 10* 11* u 12* maior que 13* 0 14* 15* in 16* Omega maiúsculo 17* , 18* 19* u 20* igual 21* 0 22* 23* on 24* diferencial parcial 25* Omega maiúsculo 26* ,*

Uma observação feita pelos autores durante a análise das fórmulas publicadas nesse formato é que existe um padrão em determinadas tags do código em MathML que fazem o NVDA ter essa leitura ineficiente. A tag `<mtable>`, utilizada para estruturar elementos matemáticos em formato de tabela, frequentemente usada em frações, matrizes ou sistemas de equações, foi uma das fontes de problemas de leitura. Outra tag que também apresentou problemas foi a `<mfenced>`, responsável por adicionar parênteses, colchetes ou chaves ao redor de expressões matemáticas.

4.2. MathJax com aria-label prioritário

Neste tipo de marcação, o conteúdo matemático é descrito diretamente por meio do atributo `aria-label`, inserido pelo MathJax. Isso significa que os leitores de tela não interagem com a estrutura interna da fórmula, apenas reproduzem a descrição textual fornecida. Como consequência, a navegação por partes da equação, como numeradores, expoentes ou termos específicos, não é possível utilizando os recursos nativos dos leitores de tela. A fórmula é lida de forma linear, do início ao fim, geralmente em inglês, pois o texto do `aria-label` é interpretado como uma única frase e vocalizado pelo leitor. Vale ressaltar que essa impossibilidade se dá pelo fato dos recursos de navegação de fórmulas que o MathJax oferece não terem sido considerados no presente estudo, como citado na metodologia.

Durante a análise, uma editora apresentou suas fórmulas utilizando este formato, sendo ela a Taylor & Francis. Como a descrição da fórmula vem pronta e não depende da interpretação dos leitores, o resultado da leitura é o mesmo em ambos. Abaixo segue da leitura da fórmula presente na figura 4 utilizando o NVDA:



$$\| u \|_{\tilde{L}^{\infty}(\mathbb{R}^{+}; \dot{B}_{2,1}^{\frac{1}{2}}) \cap L^1(\mathbb{R}^{+}; \dot{B}_{2,1}^{\frac{5}{2}})}$$

Figura 4. Fórmula retirada da editora Taylor & Francis

NVDA:

StartMetric u EndMetric Subscript ModifyingAbove upper L With tilde Sub Superscript normal infinity Subscript left parenthesis double struck upper R Sub Superscript plus

*Subscript semicolon ModifyingAbove upper B With dot Sub
Subscript 2 comma 1 Sub Superscript one half Subscript
right parenthesis intersection upper L Sub Superscript 1
Subscript left parenthesis double struck upper R Sub Su-
perscript plus Subscript semicolon ModifyingAbove upper
B With dot Sub Subscript 2 comma 1 Sub Superscript five
halves Subscript right parenthesis árvore*

4.3. MathJax com data-semantic-speech

Este tipo de marcação se assemelha ao uso de aria-label citado na subseção anterior, mas apresenta diferenças importantes. Ao invés de utilizar o atributo aria-label para fornecer a descrição da fórmula, o MathJax gera automaticamente o atributo data-semantic-speech, que contém uma representação textual da equação. Essa descrição completa é armazenada em uma área específica do código, criada pelo próprio MathJax, com o objetivo de tornar a fórmula acessível aos leitores de tela.

A editora que fez suas publicações utilizando este formato foi a Wiley. Por mais que a ideia da implementação seja um pouco diferente ao aria-label, os leitores de tela se comportam da mesma maneira fazendo uma leitura linear da fórmula não sendo possível utilizar os recursos dos leitores de tela para interagir com a fórmula. A seguir é apresentado um exemplo da leitura da fórmula da figura 5 utilizando o NVDA:

$$\int_0^t \mathcal{K}(t-t') \frac{P(t')}{\Phi(t',0)} dt' = {}_0D_t^{1-\alpha} \left(\frac{P(t)}{\Phi(t,0)} \right).$$

Figura 5. Fórmula retirada da editora Wiley

NVDA:

*StartLayout 1st Row integral Subscript 0 Superscript t Ba-
seline script upper K left parenthesis t minus t Superscript
prime Baseline right parenthesis StartFraction upper P left
parenthesis t Superscript prime Baseline right parenthesis
Over normal upper Phi left parenthesis t prime comma 0
right parenthesis EndFraction normal d t Superscript prime
Baseline equals Subscript 0 Baseline upper D Subscript t
Superscript 1 minus alpha Baseline left parenthesis Start-
Fraction upper P left parenthesis t right parenthesis Over
normal upper Phi left parenthesis t comma 0 right pa-
renthesis EndFraction right parenthesis period EndLayout*

5. Discussão

Com base nos resultados obtidos neste estudo, alguns tópicos relevantes podem ser destacados. O padrão MathJax gerando MathML oferece alguns recursos a mais do ponto de vista dos leitores de tela como a navegação por elementos, apesar de nem sempre funcionar da maneira adequada quando a complexidade da fórmula aumenta muito. Por outro

lado, os outros padrões encontrados, por mais que não deixem os leitores de tela utilizarem os recursos de interação com as fórmulas, garantem uma leitura mais fluida, sem riscos de ter informações desnecessárias ou leituras incompletas.

Com isso, é possível observar que o MathJax gerando uma descrição textual possui algumas vantagens quando o foco é clareza na forma como a fórmula é lida, pois o leitor de telas não precisa interagir diretamente com tags do HTML, somente com um texto previamente gerado. Ao mesmo tempo que o MathJax gerando MathML tem vantagens quando se trata de preservar a semântica e conseguir interagir com a fórmula utilizando os recursos do próprio leitor.

Ambas abordagens possuem características específicas. No contexto educacional, onde há pluralidade de perfis de usuários, ambas possuem seu valor. Um usuário pode se sentir melhor lendo o artigo de forma direta, sem pausas a cada fórmula, onde o aria label ou o data-semantic-speech seria um excelente formato para esse tipo de perfil. Por outro lado, um pesquisador pode estar estudando um conteúdo contido no assunto do artigo, onde esse mesmo usuário pode ter preferência por interagir diretamente com cada elemento da fórmula, onde o MathJax gerando MathML seria o mais indicado.

No entanto, se o mathml estiver bem estruturado ele permite ambas as abordagens, sendo possível fazer tanto uma leitura linear da fórmula quanto interagir com seus elementos. Essa flexibilidade é importante para pessoas com deficiência visual que desejam estudar de forma autônoma e consistente, sem depender de múltiplas formas de interação ou adaptações específicas ao conteúdo.

A editora brasileira Scielo adicionada pelos autores para comparação com as demais utiliza o mesmo tipo de marcação da maioria das editoras analisadas, o MathJax gerando MathML. O seu resultado se assemelha muito ao mostrado na seção anterior da editora Springer. O que mostra que usuários que não tenham familiaridade com inglês e queiram buscar alternativas em publicações em português no Brasil podem se deparar com as mesmas barreiras apresentadas nas demais editoras avaliadas que utilizam este padrão de publicação.

No caso dos leitores de tela, apesar do NVDA e o JAWS serem os leitores mais utilizados atualmente, eles ainda enfrentam dificuldades em relação à leitura de fórmulas grandes e complexas, exatamente o tipo de expressão encontrado na maior parte dos estudos sobre conteúdos matemáticos. Isso evidencia que apesar de haver ferramentas que permitem a representação acessível de fórmulas matemáticas, elas não garantem que usuários com deficiência visual consigam de fato compreender e utilizar tais fórmulas em suas atividades cotidianas.

Esses desafios limitam o aprendizado de estudantes com deficiências visuais, principalmente estudantes de cursos de exatas do ensino superior. A falta de uma padronização na utilização das tecnologias disponíveis pelas editoras de artigos científicos, aumenta as chances de uma barreira de acessibilidade ser encontrada. A navegação por artigos se torna uma experiência desafiadora pois podem empregar estratégias distintas de acessibilidade para a navegação por fórmulas, o que exige constante adaptação por parte dos usuários de tecnologias assistivas.

Isso levanta também a questão da carga cognitiva exigida dos usuários ao navegar por diferentes tipos de fórmulas complexas. Além da necessidade de entender a utilização

de tecnologias assistivas para esse contexto, ainda há o agravante onde o usuário pode se deparar com um artigo que exige outro formato de interação com a fórmula. Em disciplinas, que envolvem ciências exatas, nas quais a precisão na interpretação de fórmulas e cálculos é essencial para a compreensão, essa falta de uniformidade prejudica de forma significativa o acesso ao conhecimento aos usuários com deficiência visual.

Este estudo possui algumas limitações, dentre elas: uma fórmula por editora, o que significa que mesmo sua leitura estando errada, não quer dizer que as outras fórmulas presentes em outros artigos também estejam; foram considerados apenas os leitores de telas como ferramenta de análise; as análises foram feitas utilizando somente o navegador Google Chrome e não envolveram a participação de pessoas com deficiência visual.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Em conclusão, o trabalho contribui com uma análise empírica de artigos publicados em formatos digitais utilizando leitores de tela. Apesar de existirem tecnologias assistivas capazes de interpretar conteúdos matemáticos em ambientes digitais, ainda existe um longo caminho para que o conhecimento principalmente no contexto matemático seja acessível para todos. Este estudo contribui para a área da Informática na Educação ao demonstrar como a falta de padronização, e as limitações técnicas na representação digital de fórmulas matemáticas comprometem a aprendizagem de estudantes com deficiência visual no ensino superior.

O estudo demonstra ainda, que há desafios para o avanço nas tecnologias assistivas, como leitores de tela, para que possam contemplar recursos para leitura de fórmulas complexas, como as utilizadas em artigos científicos. Também é necessário ampliar a utilização de formas acessíveis de codificação de fórmulas matemáticas em artigos científicos. Mesmo no caso de editoras que já disponibilizam artigos em formato HTML, ainda há formatos que apresentam limitações para a utilização, mesmo com leitores de tela com recursos avançados.

Como trabalhos futuros, os autores pretendem ampliar a amostra de fórmulas por editora, para uma análise mais aprofundada, além de testar em outros navegadores e leitores de tela como os disponíveis em dispositivos móveis. Pretende-se também realizar a avaliação utilizando ferramentas alternativas como os recursos oferecidos pelo próprio MathJax e comparar esses resultados com os do presente estudo.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro das instituições CAPES, FAPEMIG e CNPq. Os autores declaram que a ferramenta ChatGPT foi utilizada pra revisar os textos que foram escritos inteiramente pelos autores.

Referências

- Abidi, H., Gui, G., and and, P. Z. (2025). Global refined fujita-kato solution of 3-d inhomogeneous incompressible navier-stokes equations with large density. *Communications in Partial Differential Equations*, 50(6):841–873.
- Access8Math Team (2025). Access8math: Math accessibility extension for nvda. Extensão para o leitor de tela NVDA. Disponível em: <https://addons.nvda-project.org/addons/access8math.en.html>. Acesso em: 10 abr. 2025.

- Cambridge University Press (2025). Cambridge university press. <https://www.cambridge.org/>. Editora acadêmica.
- da Paixão Silva, L. F., de Faria Oliveira, O., Freire, E. R. C. G., Mendes, R. M., and Freire, A. P. (2017). How much effort is necessary for blind users to read web-based mathematical formulae? a comparison using task models with different screen readers. In *Proceedings of the XVI Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, IHC '17, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- De Gruyter (2025). De gruyter. <https://www.degruyter.com/>. Editora científica.
- Dias, A., França, J., Borges, J. A., Silveira, J., Carvalho, M., and Borges, M. (2018). Matemática, computação e braille: Desafios da pedagogia, da semiótica e da síntese da fala. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 29, page 1863.
- Elsevier (2025). Elsevier. <https://www.elsevier.com/>. Editora científica.
- Freedom Scientific (2025). Jaws: Job access with speech. Software comercial para Windows. Disponível em: <https://www.freedomscientific.com/products/software/jaws/>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- Frontiers (2025). Frontiers. <https://www.frontiersin.org/>. Editora científica de acesso aberto.
- Garcia, Y. H., Diaz-Infante, S., and Minjarez-Sosa, J. A. (2025). An integrated mathematical epidemiology and inventory model for high demand and limited supplies under uncertainty. *Decision Analytics Journal*, 14:100543.
- Howell, J., Chan, A., Hordemann, G., and Quek, F. (2023). Mathematics as interactive multimedia. In *2023 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM)*, pages 160–167.
- Huang, H.-T., Li, Z.-C., Wei, Y., and Suen, C. Y. (2025). Improved splitting-integrating methods for image geometric transformations: Error analysis and applications. *Mathematics*, 13(11):1773.
- Kajikiya, R. (2025). Reflectionally asymmetric solutions of the Hénon equation in unbounded domains. *Calculus of Variations*, 64(158).
- Maćkowski, M., Kawulok, M., Brzoza, P., and Spinczyk, D. (2023). Methods and tools supporting the learning and teaching of mathematics dedicated to students with blindness. *Applied Sciences*, 13(12):7240.
- Martins, V. F., Silveira, I. F., Eliseo, M. A., and de la Higuera Amato, C. A. (2022). Perspectivas de acessibilidade na autoria de cursos e recursos educacionais abertos: um panorama internacional. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, pages 334–344. SBC.
- MathJax Consortium (2025). Mathjax: Beautiful math in all browsers. Disponível em: <https://www.mathjax.org/>. Acesso em: 17 maio 2025.
- MDPI (2025). Multidisciplinary digital publishing institute (mdpi). <https://www.mdpi.com/>. Editora de acesso aberto.

- Mejía, P., Martini, L. C., Grijalva, F., Larco, J. C., and Rodríguez, J. C. (2021). A survey on mathematical software tools for visually impaired persons: A practical perspective. *IEEE Access*, 9:66929–66947.
- Nunes, I. R., Gonçalves, A. L., and Mendes, R. F. (2023). Simuladores de órbitas relativísticas como apoio ao ensino de relatividade geral em nível médio e superior. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 45:e20230294.
- NV Access (2025). Nvda: Nonvisual desktop access. Software livre para Windows. Disponível em: <https://www.nvaccess.org/download/>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- Poór, M. and Rinot, A. (2025). A shelah group in zfc. *Forum of Mathematics, Pi*, 13:e13.
- SciELO (2025). Scientific electronic library online (scielo). <https://scielo.org/>. Biblioteca científica eletrônica.
- SCImago Lab (2025). Scimago journal & country rank. Disponível em: <https://www.scimagojr.com/journalrank.php>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- Sojka, P., Ruzicka, M., Kucbel, M., and Jarmar, M. (2013). Accessibility issues in digital mathematical libraries. In *Proceedings of the Conference Universal Learning Design*.
- Springer (2025). Springer. <https://www.springer.com/>. Editora científica.
- Taylor & Francis (2025). Taylor & francis. <https://www.tandfonline.com/>. Editora científica.
- W3C (2014). Mathematical markup language (mathml) version 3.0. 3rd edition. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/MathML/>. Acesso em: 17 maio 2025.
- W3C (2024). World wide web consortium - introduction to web accessibility. Disponível em: <https://www.w3.org/WAI/fundamentals/accessibility-intro/>. Acesso em: 22 maio 2025.
- Wang, L. L., Cachola, I., Bragg, J., Cheng, E. Y.-Y., Haupt, C., Latzke, M., Kuehl, B., van Zuylen, M., Wagner, L., and Weld, D. S. (2021). Improving the accessibility of scientific documents: Current state, user needs, and a system solution to enhance scientific pdf accessibility for blind and low vision users.
- Wang, X. (2025). Singular trudinger–moser inequalities for the aharonov–bohm magnetic field. *Advanced Nonlinear Studies*.
- WebAIM (2024). Web accessibility in mind – screen reader user survey #10 results. Disponível em: <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey10/>. Acesso em: 28 maio 2025.
- WHO (2023). World health organization – blindness and vision impairment. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>. Atualizado em 10 ago. 2023; Acesso em 8 jun. 2025.
- Wiley (2025). Wiley. <https://www.wiley.com/>. Editora científica.
- Yuan, H., Meng, X., Frascoli, F., and Zhang, T. (2025). Individuals strategies and predator–prey game models in deterministic and random settings. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*.
- Zen, E., Tavares, T., Costa, V., Rissetti, G., and Martins, L. (2024). Recomendações para o ensino de programação de computadores para estudantes cegos. In *Anais do XXXV*

Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, pages 2013–2024, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.

Zhang, L., Jian, X., and Ma, Y. (2024). Analysis of differences in fossil fuel consumption in the world based on the fractal time series and complex network. *Frontiers in Physics*, 12:1457287.