



Modelagem Computacional no Sertão Mineiro



PPGMCS
Programa de Pós-Graduação em
Modelagem Computacional e Sistemas

MODELAGEM COMPUTACIONAL PARA TRANSFORMAR DADOS EM RECURSOS EDUCACIONAIS ACESSÍVEIS PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL: SCOPING REVIEW

Talita R. Vieira¹ – talitarvieira27@gmail.com

Iara Sibeles Silva¹ - iarasibelesilva@gmail.com

Patrícia Takaki¹ - patricia.takaki@unimontes.br

¹Universidade Estadual de Montes Claros, UNIMONTES - Montes Claros, MG, Brazil

Resumo: Grande parte dos conteúdos STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) depende de representações visuais, dificultando o acesso de pessoas com deficiência visual a conceitos espaciais e gráficos. Nesse contexto, a modelagem computacional tem possibilitado a conversão de dados digitais em recursos educacionais acessíveis, como modelos tridimensionais, gráficos táteis e interfaces multimodais. Entretanto, as evidências sobre essas abordagens permanecem dispersas na literatura. Esta pesquisa teve como objetivo mapear como a modelagem computacional tem sido empregada na transformação de dados em recursos educacionais acessíveis para pessoas com deficiência visual, identificando técnicas computacionais, fluxos de processamento, recursos produzidos e estratégias de validação. Foi realizada uma revisão de escopo conduzida conforme as diretrizes do Joanna Briggs Institute (JBI) e do PRISMA-ScR, incluindo 28 estudos publicados entre 2005 e 2025. Os resultados evidenciaram a predominância da impressão 3D, a crescente incorporação de inteligência artificial e interfaces multimodais, além da ausência de protocolos padronizados de modelagem e validação, da predominância de estudos com amostras reduzidas e da escassez de investigações comparativas e longitudinais. Como principal contribuição, o estudo propõe uma estrutura analítica para descrever o fluxo computacional de transformação de dados em recursos educacionais acessíveis, apoiando o desenvolvimento de soluções mais padronizadas, reproduzíveis e escaláveis.

Keywords: Modelagem computacional, Acessibilidade educacional, Deficiência visual, Recursos táteis, Revisão de escopo.

1. INTRODUÇÃO

O acesso equitativo à informação educacional ainda representa um desafio para pessoas com deficiência visual, sobretudo devido à predominância de conteúdos apresentados por mapas, gráficos, diagramas, figuras, equações e outras representações visuais. Embora recursos como Braille, gráficos táteis e audiodescrição tenham ampliado a acessibilidade, essas abordagens

apresentam limitações quanto à escalabilidade, personalização e representação de conteúdos dinâmicos ou espacialmente complexos (Brock et al., 2015; Giraud et al., 2017; Maćkowski & Brzoza, 2022). Nesse contexto, a modelagem computacional compreende os processos de aquisição, processamento, modelagem e conversão de dados digitais em representações acessíveis. Para isso, emprega técnicas como inteligência artificial, visão computacional, aprendizado de máquina, impressão 3D e interfaces multimodais, permitindo representar informações em formatos adaptados às necessidades de pessoas cegas ou com baixa visão (Abdusalomov et al., 2020; Mukhiddinov & Kim, 2021; Jiao et al., 2025).

Apesar da rápida evolução dessas tecnologias, as evidências permanecem dispersas entre áreas como Ciência da Computação, Tecnologia Assistiva, Cartografia, Interação Humano–Computador e Tecnologias Educacionais. A maioria dos estudos concentra-se em tecnologias específicas, como mapas táteis, gráficos acessíveis e impressão 3D (Mukhiddinov & Kim, 2021; Wabiński & Mościcka, 2019; Wabiński et al., 2022; Palani et al., 2020), não sendo identificada, nas buscas realizadas, uma síntese que analise a modelagem computacional como um processo integrado de transformação de dados em recursos educacionais acessíveis. Essa lacuna limita a compreensão das principais abordagens computacionais, dos fluxos de processamento e das estratégias de validação empregadas.

Diante desse cenário, esta revisão de escopo mapeia como a modelagem computacional tem sido utilizada na transformação de dados em recursos educacionais acessíveis para pessoas com deficiência visual, identificando as principais técnicas computacionais, os fluxos de transformação, os recursos produzidos e as estratégias de validação descritas na literatura. Ao integrar essas evidências, o estudo oferece uma visão abrangente das abordagens existentes e subsidia o desenvolvimento de novas soluções computacionais para a acessibilidade educacional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Delineamento da revisão

Esta pesquisa consiste em uma revisão de escopo (Scoping Review), conduzida conforme a metodologia do Joanna Briggs Institute (JBI) (Peters et al., 2024) e reportada segundo o PRISMA-ScR (Tricco et al., 2018). Seu caráter exploratório permitiu mapear e sintetizar evidências metodologicamente heterogêneas sobre a modelagem computacional na transformação de dados em recursos educacionais acessíveis para pessoas com deficiência visual, identificando abordagens computacionais, tendências e lacunas de pesquisa.

2.2 Formulação da questão de pesquisa

A questão de pesquisa foi estruturada utilizando a estratégia PCC (*Population–Concept–Context*) recomendada pelo *Joanna Briggs Institute* para revisões de escopo.

Tabela 1: revisão de escopo

<i>Elemento</i>	<i>Definição</i>
<i>Population</i>	Pessoas com deficiência visual (cegueira ou baixa visão)
<i>Concept</i>	Modelagem computacional aplicada à transformação de dados em recursos educacionais acessíveis
<i>Context</i>	Educação e tecnologias educacionais acessíveis

Com base nessa estrutura, definiu-se a seguinte pergunta de pesquisa: “Como a modelagem computacional tem sido empregada para transformar dados em recursos educacionais acessíveis para pessoas com deficiência visual?”

2.3 Critérios de elegibilidade

Os critérios de elegibilidade foram definidos com base na estratégia PCC (Population–Concept–Context). Foram incluídos artigos completos, publicados em inglês, em periódicos ou anais de conferências revisados por pares, que abordassem a aplicação de técnicas de modelagem computacional na transformação de dados em recursos educacionais acessíveis para pessoas com deficiência visual. Foram excluídos literatura cinzenta, capítulos de livros, editoriais, cartas, resumos expandidos, revisões secundárias, estudos duplicados, artigos sem texto completo e pesquisas restritas à acessibilidade web, leitores de tela ou tecnologias sem finalidade educacional.

2.4 Fontes de informação

A identificação inicial dos estudos foi realizada com duas plataformas baseadas em inteligência artificial para descoberta científica: *ResearchRabbit*¹, empregado na expansão da rede de citações, identificação de trabalhos semanticamente relacionados e rastreamento de estudos a partir de artigos-semente; e *Consensus*², utilizado para recuperação semântica da literatura científica por consultas em linguagem natural. As ferramentas foram empregadas de forma complementar para ampliar a cobertura da busca e reduzir o risco de omissão de estudos relevantes em um campo multidisciplinar com elevada diversidade terminológica. As buscas foram realizadas entre junho e julho de 2026 e atualizadas antes da etapa final de seleção dos estudos.

2.5 Estratégia de busca

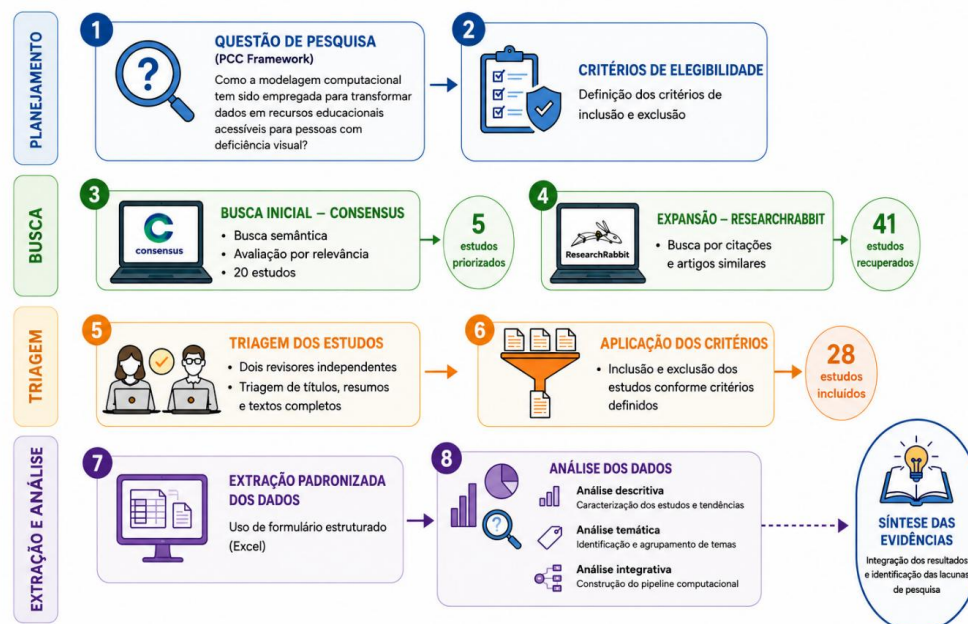


Figura 1: Fluxo metodológico da revisão de escopo

¹ <https://www.researchrabbit.ai/>

² <https://consensus.app/>

A estratégia de busca (Figura 1) foi desenvolvida em duas etapas. Inicialmente, a plataforma Consensus foi utilizada para identificar artigos-semente representativos da temática por meio de busca semântica baseada na estratégia PCC. Posteriormente, esses estudos foram empregados como ponto de partida para expansão da rede de citações na plataforma ResearchRabbit. Ao final do processo, 41 estudos foram identificados e 28 atenderam aos critérios de elegibilidade, compondo a amostra analisada. A seleção foi realizada independentemente por dois revisores, sendo as divergências resolvidas por consenso.

2.6 Extração e análise dos dados

A extração dos dados foi realizada por dois revisores independentes utilizando um formulário padronizado previamente testado. Para cada estudo foram registrados dados bibliográficos, características metodológicas, tecnologias e técnicas de modelagem computacional, recursos educacionais acessíveis produzidos, contexto de aplicação, público-alvo, estratégias de acessibilidade e métodos de validação.

Como principal contribuição metodológica, esta revisão desenvolveu uma estrutura analítica para descrever o fluxo de transformação computacional de dados em recursos educacionais acessíveis (Figura 2). A *metodologia* compreende cinco etapas: dados de entrada, pré-processamento, modelagem computacional, geração do recurso acessível e validação, sendo utilizado para identificar padrões recorrentes e comparar os processos adotados pelos estudos selecionados.

As informações extraídas foram organizadas em quatro dimensões analíticas: (i) características bibliográficas, (ii) computacionais, (iii) educacionais e (iv) estratégias de validação. A síntese dos dados foi realizada por análises descritivas e temáticas, permitindo caracterizar a evolução das publicações, as tecnologias empregadas, os recursos educacionais desenvolvidos e os métodos de validação, além de identificar tendências, desafios e lacunas de pesquisa.



Figura 2: Estrutura analítica utilizada na extração dos estudos

3. RESULTADOS

Os 28 estudos incluídos foram publicados entre 2005 e 2025, evidenciando crescimento expressivo da produção científica a partir de 2016, impulsionado pela consolidação da impressão 3D, das interfaces multimodais e, mais recentemente, da inteligência artificial aplicada à acessibilidade. A produção apresentou caráter internacional, com predominância de pesquisas desenvolvidas nos Estados Unidos, França, Coreia do Sul, China, Polônia, Canadá, Reino Unido e Singapura, concentradas nas áreas de Interação Humano–Computador, Tecnologia Assistiva, Ciência da Computação, Cartografia, Educação e Engenharia.

Predominaram estudos de desenvolvimento tecnológico e pesquisas experimentais voltados à produção de recursos educacionais acessíveis, geralmente validados por testes de usabilidade com pessoas cegas ou com baixa visão e, em menor proporção, por especialistas e docentes. As aplicações concentraram-se no ensino de disciplinas STEM, mas também abrangeram cartografia acessível, comunicação científica, orientação e mobilidade e outros contextos educacionais.

A transformação de dados em recursos educacionais acessíveis seguiu um fluxo recorrente de aquisição, pré-processamento, modelagem computacional e geração do recurso. Os dados processados incluíram imagens, mapas, gráficos estatísticos, diagramas, modelos científicos, objetos tridimensionais, dados astronômicos e informações cartográficas, resultando principalmente em mapas e gráficos táteis, modelos tridimensionais impressos, interfaces áudio-táteis, recursos multimodais e plataformas educacionais.

A impressão 3D foi a tecnologia mais frequente, presente em 11 dos 28 estudos (39,3%), seguida por modelagem tridimensional, processamento digital de imagens, interfaces áudio-táteis, displays Braille atualizáveis, sonificação, realidade aumentada, visão computacional, inteligência artificial e aprendizado de máquina. Esses resultados evidenciam a evolução das representações táteis estáticas para soluções multimodais interativas, capazes de integrar diferentes modalidades sensoriais e ampliar o acesso à informação.

A análise temática identificou quatro eixos predominantes: (i) conversão automática de imagens em representações táteis por algoritmos de visão computacional; (ii) geração e padronização de mapas táteis; (iii) desenvolvimento de recursos educacionais para disciplinas STEM com apoio da modelagem computacional e da impressão 3D; e (iv) integração entre impressão 3D, interfaces multimodais e outras tecnologias assistivas para ampliar a autonomia e a aprendizagem.

Quanto à validação, predominou a avaliação com usuários finais, frequentemente complementada por especialistas em acessibilidade e educação. Os métodos mais utilizados incluíram testes de usabilidade, avaliações de desempenho e aprendizagem, testes de compreensão espacial, entrevistas e questionários de satisfação. De forma consistente, os estudos relataram melhorias na autonomia, na compreensão de conteúdos gráficos e no desempenho em atividades educacionais, evidenciando o potencial das abordagens computacionais para ampliar a acessibilidade dos recursos didáticos.

O mapeamento também evidenciou importantes lacunas. Embora a impressão 3D e as interfaces multimodais estejam consolidadas, aplicações baseadas em inteligência artificial e aprendizado de máquina ainda são pouco exploradas. Persistem a ausência de protocolos padronizados para o desenvolvimento e a validação de recursos educacionais acessíveis, a predominância de estudos com amostras reduzidas e a escassez de investigações comparativas e longitudinais. Esses resultados reforçam a necessidade de abordagens computacionais mais

automatizadas, reprodutíveis e escaláveis, associadas a protocolos metodológicos que favoreçam a comparação entre técnicas e ampliem a robustez das evidências produzidas.

4. CONCLUSÃO

Esta revisão de escopo evidenciou que a modelagem computacional constitui o elemento integrador da transformação de dados em recursos educacionais acessíveis para pessoas com deficiência visual, reunindo diferentes técnicas de processamento, tecnologias assistivas e estratégias de representação da informação. O mapeamento também identificou desafios relacionados à padronização dos processos de desenvolvimento e validação, bem como oportunidades para ampliar o uso de abordagens baseadas em inteligência artificial e outras técnicas de automação.

Como principal contribuição, o estudo propõe uma estrutura analítica para descrever o fluxo computacional de transformação de dados em recursos educacionais acessíveis, oferecendo uma estrutura analítica preliminar capaz de apoiar a organização, comparação e desenvolvimento de novas soluções computacionais. Essa estrutura fornece uma referência para futuras pesquisas e contribui para o avanço da modelagem computacional aplicada à acessibilidade educacional.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG (Grant n OET-00243-26).

Os autores utilizaram *ChatGPT*, *ResearchRabbit* e *Consensus* como ferramentas de apoio à revisão, organização e aprimoramento da redação do manuscrito. Todo o conteúdo gerado foi revisado criticamente e validado pelos autores, que assumem integral responsabilidade pela originalidade e veracidade do texto final, em conformidade com a Portaria CNPq n. 2.664/2026.

REFERÊNCIAS

- Abdusalomov, A., Mukhiddinov, M., Djuraev, O., Khamdamov, U., & Whangbo, T. K. (2020). Automatic salient object extraction based on locally adaptive thresholding to generate tactile graphics. *Applied Sciences*, 10(10), 3350.
- Albouys-Perrois, J., Laviole, J., Briant, C., & Brock, A. M. (2018, April). Towards a multisensory augmented reality map for blind and low vision people: A participatory design approach. In *Proceedings of the 2018 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1-14).
- Arcand, K. K., Price, S. R., & Watzke, M. (2020). Holding the cosmos in your hand: Developing 3D modeling and printing pipelines for communications and research. *Frontiers in Earth Science*, 8, 590295.
- Bardot, S., Serrano, M., & Jouffrais, C. (2016, September). From tactile to virtual: using a smartwatch to improve spatial map exploration for visually impaired users. In *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (pp. 100-111).
- Brock, A. M., Truillet, P., Oriola, B., Picard, D., & Jouffrais, C. (2015). Interactivity improves usability of geographic maps for visually impaired people. *Human-Computer Interaction*, 30(2), 156-194.
- Brown, C., & Hurst, A. (2012, February). VizTouch: automatically generated tactile visualizations of coordinate spaces. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction* (pp. 131-138).

- Butler, M., Holloway, L. M., Reinders, S., Goncu, C., & Marriott, K. (2021, May). Technology developments in touch-based accessible graphics: A systematic review of research 2010-2020. In *Proceedings of the 2021 Chi conference on human factors in computing systems* (pp. 1-15).
- Ducasse, J., Macé, M. J., Serrano, M., & Jouffrais, C. (2016, May). Tangible reels: construction and exploration of tangible maps by visually impaired users. In *Proceedings of the 2016 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 2186-2197).
- Giraud, S., Brock, A. M., Macé, M. J. M., & Jouffrais, C. (2017). Map learning with a 3D printed interactive small-scale model: Improvement of space and text memorization in visually impaired students. *Frontiers in psychology*, 8, 930.
- Giudice, N. A., Palani, H. P., Brenner, E., & Kramer, K. M. (2012, October). Learning non-visual graphical information using a touch-based vibro-audio interface. In *Proceedings of the 14th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility* (pp. 103-110).
- Götzelmann, T. (2016, October). LucentMaps: 3D printed audiovisual tactile maps for blind and visually impaired people. In *Proceedings of the 18th international ACM Sigaccess conference on computers and accessibility* (pp. 81-90).
- Götzelmann, T. (2018). Visually augmented audio-tactile graphics for visually impaired people. *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*, 11(2), 1-31.
- Guo, A., Kim, J., Chen, X. A., Yeh, T., Hudson, S. E., Mankoff, J., & Bigham, J. P. (2017, May). Facade: Auto-generating tactile interfaces to appliances. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 5826-5838).
- Jiao, Y., Sun, R., Luo, R., Yao, X., She, X., Hara, K., ... & Fu, X. (2025, October). Tactile Data Comics: Combining Step-by-step Presentation of Tactile Graphics with Verbal Narration for the Blind and Visually Impaired. In *Proceedings of the 27th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 1-14).
- Kane, S. K., & Bigham, J. P. (2014, March). Tracking@ stemxcomet: teaching programming to blind students via 3D printing, crisis management, and twitter. In *Proceedings of the 45th ACM technical symposium on Computer science education* (pp. 247-252).
- Kim, J., & Yeh, T. (2015, April). Toward 3D-printed movable tactile pictures for children with visual impairments. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2815-2824).
- Ladner, R. E., Ivory, M. Y., Rao, R., Burgstahler, S., Comden, D., Hahn, S., ... & Groce, D. (2005, October). Automating tactile graphics translation. In *Proceedings of the 7th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 150-157).
- Maćkowski, M., & Brzoza, P. (2022). Accessible tutoring platform using audio-tactile graphics adapted for visually impaired people. *Sensors*, 22(22), 8753.
- Mukhiddinov, M., & Kim, S. Y. (2021). A systematic literature review on the automatic creation of tactile graphics for the blind and visually impaired. *Processes*, 9(10), 1726.
- Palani, H. P., Fink, P. D., & Giudice, N. A. (2020). Design guidelines for schematizing and rendering haptically perceivable graphical elements on touchscreen devices. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(15), 1393-1414.
- Peters, M. D., Godfrey, C., McInerney, P., Munn, Z., Tricco, A. C., & Khalil, H. (2024). 10. Scoping reviews. *JBI manual for evidence synthesis*, 417-476.
- Seo, J., Xia, Y., Lee, B., Mccurry, S., & Yam, Y. J. (2024, May). Maidr: Making statistical visualizations accessible with multimodal data representation. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-22).
- Shi, L., Zelzer, I., Feng, C., & Azenkot, S. (2016, May). Tickers and talker: An accessible labeling toolkit for 3D printed models. In *Proceedings of the 2016 chi conference on human factors in computing systems* (pp. 4896-4907).

- Shi, L., Zhao, Y., & Azenkot, S. (2017, October). Markit and Talkit: a low-barrier toolkit to augment 3D printed models with audio annotations. In *Proceedings of the 30th annual acm symposium on user interface software and technology* (pp. 493-506).
- Taylor, B., Dey, A., Siewiorek, D., & Smailagic, A. (2016, October). Customizable 3D printed tactile maps as interactive overlays. In *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS conference on computers and accessibility* (pp. 71-79).
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., ... & Straus, S. E. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. *Annals of internal medicine*, 169(7), 467-473.
- Wabiński, J., & Mościcka, A. (2019). Automatic (tactile) map generation—a systematic literature review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(7), 293.
- Wabiński, J., Mościcka, A., & Touya, G. (2022). Guidelines for standardizing the design of tactile maps: A review of research and best practice. *The Cartographic Journal*, 59(3), 239-258.