

Inteligência artificial na adaptação de materiais didáticos para estudantes cegos: uma proposta automação com agentes especializados na Fundação Cecierj

Artificial Intelligence in the adaptation of educational materials for blind students: an automation proposal with specialized agents in the Cecierj Foundation.

Ives DUQUE-PEREIRA
Luciana Tavares PERDIGÃO

Núcleo de Acessibilidade e Inclusão da Fundação Cecierj.
Rio de Janeiro, Brasil.

Resumo.

O presente artigo tem como **objetivo** analisar o potencial da inteligência artificial na automação do processo de adaptação de materiais didáticos para estudantes cegos, por meio do desenvolvimento e avaliação de agentes especializados com base na API Gemini do Google, aplicados no Núcleo de Acessibilidade e Inclusão (NAI) da Fundação Cecierj. A **fundamentação teórica** apresenta um panorama sobre o uso da IA em acessibilidade educacional e discute práticas vigentes, desafios tecnológicos e sociais, além de evidenciar como ferramentas como leitores de tela, síntese de voz e sistemas de reconhecimento de imagem são integradas para promover inclusão. A **metodologia** compreende revisão sistemática do tema, uso de IA para levantamento de referências e a construção experimental de um protótipo, testando diferentes plataformas de IA generativa para tarefas como extração, estruturação e marcação de textos adaptados. Os principais **resultados** indicam que ferramentas como o Google AI Studio apresentam alta eficácia na automação das etapas da adaptação, embora haja limitações como dependência tecnológica e necessidade de ajustes humanos. **Conclui-se** que a automação transforma o papel do adaptador humano em curador pedagógico, destaca o potencial da IA para ampliar a

inclusão educacional e recomenda que futuros desenvolvimentos busquem a produção de materiais originalmente acessíveis, segundo o Desenho Universal da Aprendizagem.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Acessibilidade Educacional. Adaptação de Materiais. Estudantes Cegos. Automação.

Abstract. This article aims to analyze the potential of artificial intelligence in automating the process of adapting teaching materials for blind students, through the development and evaluation of specialized agents based on Google's Gemini API, applied at the Accessibility and Inclusion Center (NAI) of the Cecierj Foundation. The theoretical framework presents an overview of the use of AI in educational accessibility and discusses current practices, technological and social challenges, as well as highlighting how tools such as screen readers, speech synthesis, and image recognition systems are integrated to promote inclusion. The methodology comprises a systematic review of the topic, the use of AI to gather references, and the experimental construction of a prototype, testing different generative AI platforms for tasks such as extraction, structuring, and marking of adapted texts. The main results indicate that tools such as Google AI Studio are highly effective in automating the adaptation steps, although there are limitations such as technological dependence and the need for human adjustments. It is concluded that automation transforms the role of the human adapter into a pedagogical curator, highlights the potential of AI to expand educational inclusion, and recommends that future developments seek to produce materials that are originally accessible, according to Universal Design for Learning.

Keywords: Artificial Intelligence. Educational Accessibility. Material Adaptation. Blind Students. Automation.

Resumo em Libras

(clique na janela abaixo para acessar o vídeo completo):

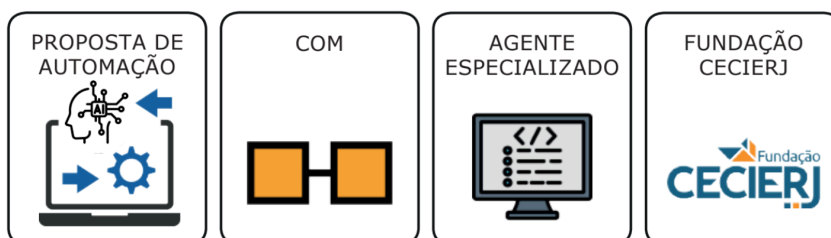


Resumo em CAA - Comunicação Aumentativa e Alternativa

(clique na imagem abaixo para acessar o arquivo completo):



Inteligência Artificial na Adaptação de Materiais Didáticos para Estudantes Cegos:



uma proposta de Automação com Agentes Especializados na Fundação Ciecierj

1. Introdução

Garantir o direito à educação inclusiva requer a disponibilização de recursos didáticos acessíveis a estudantes com deficiência, conforme preconiza a Lei Brasileira de Inclusão (Brasil, 2015). Dentre os diversos públicos da educação especial, os estudantes cegos ou com baixa visão demandam que textos, imagens e demais conteúdos sejam adaptados para formatos sensoriais alternativos, como braille (meio tátil) ou audiodescrição.

No Brasil, estima-se que aproximadamente 6,5 milhões de pessoas possuam deficiência visual severa – destas, cerca de 528 mil têm cegueira total – além de outros 29 milhões com alguma dificuldade de enxergar (Brasil, 2019). Em âmbito global, os números também são expressivos: relatório da Organização Mundial da Saúde apontou dezenas de milhões de pessoas com cegueira no mundo, muitas das quais enfrentam barreiras educacionais significativas (Who, 2019). Esses dados ressaltam a importância de iniciativas que assegurem acesso equitativo ao conhecimento.

A adaptação de materiais didáticos para alunos cegos tem muitas vezes envolvido processos manuais e quase artesanais. Instituições de educação inclusiva e centros de apoio, como o Instituto Benjamin Constant e os núcleos de acessibilidade de universidades, contam com profissionais que com ajuda de ferramentas transcrevem textos para braille, confeccionam gráficos táteis, adaptam textos escritos com marcadores para leitores e gravam livros falados. Tais práticas, embora eficazes, consomem tempo e recursos humanos consideráveis.

Por exemplo, até poucos anos atrás era comum que estudantes cegos recebessem livros didáticos com atraso, devido ao longo processo de transcrição braille e impressão especializada (Ventura, 2024). Mesmo no ensino superior à distância – caso do Consórcio Cecierj no Rio de Janeiro – a preparação de materiais acessíveis depende de uma “bancada manual” de adaptadores, cujo fluxo de trabalho tipicamente envolve extrair textos de PDFs, adaptá-los e então utilizar softwares leitores de tela ou de síntese de voz para gerar arquivos de áudio (prática ilustrada pelo uso do software Balabolka, um conversor de texto em fala e em outros formatos de texto). Esse cenário motivou buscas por soluções que tornassem o processo mais ágil e escalável, garantindo que alunos com deficiência visual tivessem acesso simultâneo ao conteúdo, em igualdade de condições com seus pares.

Nos últimos anos, tecnologias de Inteligência Artificial (IA) emergiram como potenciais aliadas na superação dessas barreiras de acessibilidade. A IA, entendida como o uso de algoritmos e modelos computacionais capazes de desempenhar tarefas tipicamente humanas (como reconhecimento de padrões, interpretação de imagens e compreensão de linguagem natural), vem revolucionando diversos setores, inclusive o educacional (Unesco,

2019).

Em especial, no domínio da deficiência visual, têm-se popularizado aplicações de IA que leem textos em voz alta, reconhecem objetos e descrevem imagens em tempo real. Dispositivos e aplicativos como o OrCam MyEye – uma pequena câmera acoplada a óculos, que faz leitura instantânea de textos impressos por meio de visão computacional –, Be My Eyes e o Microsoft Seeing AI – aplicativo móvel gratuito que narra o ambiente e textos para pessoas cegas – demonstram como a IA pode ampliar a autonomia desses indivíduos (Alvim, 2022; Be My Eyes, 2025; Microsoft, 2017). Essas ferramentas baseadas em visão computacional e síntese de voz são capazes de realizar em segundos tarefas que antes exigiam um intermediário, como ler um livro ou identificar o rótulo de um produto.

No contexto educacional, a aplicação da IA para acessibilidade vem ganhando espaço tanto em pesquisas quanto em iniciativas práticas. Estudos em âmbito internacional já investigaram o uso de algoritmos inteligentes para transcrever materiais didáticos, gerar descrições automáticas de conteúdo visual e até produzir modelos táteis com auxílio de impressão 3D (See; Advincula, 2021; W3c, 2018).

No Brasil, experiências como a da Fundação Dorina Nowill para Cegos mostram o potencial de se integrar IA aos fluxos de produção de livros acessíveis, em 2023, a fundação implementou uma plataforma de edição braille com motores de IA para linearização de texto e inserção de descrições automáticas de imagens, triplicando sua capacidade editorial de páginas adaptadas (Ventura, 2024).

Paralelamente, pesquisadores têm explorado o uso de IA na educação inclusiva em diferentes frentes – por exemplo, Santos et al. (2025) analisaram ferramentas de IA para apoiar o ensino de programação a alunos cegos, evidenciando ganhos de produtividade e também desafios de usabilidade. Esses avanços sugerem que há uma convergência entre as demandas de acessibilidade e as soluções viabilizadas pela IA, mas também apontam para a necessidade de avaliar criticamente a efetividade e limites dessas tecnologias.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem dois objetivos centrais. Primeiro, compreender como a IA vem sendo utilizada na adaptação de materiais didáticos para estudantes cegos. Para estruturar o escopo e a busca por referências para esta parte, utilizou-se a ferramenta de Inteligência Artificial ChatGPT (modelo GPT-4o), na funcionalidade “investigar”. A questão de pesquisa norteadora foi: como a Inteligência Artificial tem sido utilizada na adaptação de materiais didáticos para estudantes cegos, e quais são os principais resultados, desafios e lacunas observados?

Cabe destacar que todas as fontes sugeridas pela ferramenta de IA foram cuidadosamente conferidas, sendo realizados ajustes manuais na redação, supressão de duplicidades e complementação com documentos não captados automaticamente. A

interação com o modelo de IA atuou como um catalisador da sistematização metodológica e bibliográfica, alinhando-se à proposta do próprio objeto investigado, o uso da IA como apoio técnico à inclusão educacional. Dessa forma, este estudo não apenas explora teoricamente as potencialidades da inteligência artificial na acessibilidade, como também aplica tais ferramentas em sua própria construção epistemológica, reforçando o valor metodológico da integração entre recursos humanos e máquinas no avanço da pesquisa educacional inclusiva. Assume-se a autoria do presente trabalho em que a ferramenta foi utilizada, para além da sistematização, como revisora textual com ajustes de coesão e coerência.

Em segundo lugar, o artigo apresenta um relato de experiência do autor, bolsista no Núcleo de Acessibilidade e Inclusão (NAI) da Fundação Cecierj, descrevendo o atual fluxo da “bancada manual” a desejável transição para o agente inteligente autônomo na adaptação de materiais, mesmo sem ser da área da programação. Trata-se do desenvolvimento e teste de partes de um projeto de protótipo automatizado que utiliza serviços de IA (notadamente a API Gemini do Google) integrados em uma arquitetura de agentes especializados, a fim de automatizar etapas do fluxo de adaptação – desde a extração e estruturação do conteúdo original até a geração do material final acessível com formatação e áudio.

2. Ferramentas de IA para acessibilidade

2.1. Leitura automatizada e conversão de texto em voz

Trata-se de utilizar IA para possibilitar que estudantes cegos acessem conteúdo textual por meio auditivo. Tecnologias de Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR) combinadas com Síntese de Fala se destacam nesse tópico. Por exemplo, Alves et al. (2009) já apontavam que softwares leitores de tela e conversores de texto em áudio desempenhavam papel fundamental na inclusão educacional, facilitando leitura e escrita por alunos cegos no contexto escolar.

Nos anos recentes, essas soluções ganharam camadas adicionais de inteligência. Seeing AI, aplicativo lançado pela Microsoft em 2017, utiliza visão computacional baseada em redes neurais para detectar texto impresso através da câmera do celular e lê-lo em voz alta instantaneamente, além de identificar cédulas de dinheiro, cores e até descrever cenários (MICROSOFT, 2017). Estudos relatam que o Seeing AI tem beneficiado estudantes ao permitir autonomia na leitura de materiais avulsos e nas atividades cotidianas de estudo, como ler um capítulo de livro da biblioteca sem esperar pela versão braille (Groba; Reis, 2024).

De forma semelhante, o dispositivo OrCam MyEye – que clipa em óculos comuns – vem sendo distribuído experimentalmente em escolas brasileiras, demonstrando impacto positivo: alunos relatam maior independência nos estudos ao poder “ouvir” livros didáticos impressos e apostilas através da leitura por IA, sem necessidade de um transcritor humano (Alvim, 2022). Um ponto comum nesses dispositivos é o uso de algoritmos de IA embarcados para OCR e síntese de voz com latência mínima, alguns funcionando inclusive offline (como o OrCam), o que é importante em salas de aula sem conectividade.

Surgem pesquisas por alternativas de baixo custo, como o uso de smartphones comuns com aplicativos de IA. Diversos estudos avaliam aplicativos móveis gratuitos ou de código aberto que fazem OCR e leitura em voz, muitos aproveitando APIs de reconhecimento de texto na nuvem e vozes sintéticas aprimoradas por IA.

Hakobyan et al. (2013) já realizavam um levantamento de tecnologias móveis assistivas, destacando que a convergência de câmeras de boa qualidade e algoritmos de reconhecimento tornava os celulares uma plataforma promissora para leitores de bolso para cegos. Confirmando essa tendência, Tsouktakou et al. (2024) observaram em sua revisão que aplicativos em smartphones frequentemente se mostravam mais acessíveis e fáceis de usar do que dispositivos especializados, contanto que a interface fosse desenhada com acessibilidade.

Isso ocorre porque o usuário já está familiarizado com o aparelho e não precisa carregar equipamento adicional; por outro lado, alguns autores notam que, apesar da praticidade, o uso prolongado do celular para estudo (por exemplo, ouvir longos textos) pode trazer cansaço ou dificuldade de navegação no conteúdo, exigindo melhorias nas interfaces auditivas desses apps (Brulé et al., 2019; Santos et al., 2025).

2.2 Descrição de imagens por IA

Outra categoria identificada diz respeito à acessibilidade de conteúdo visual presente em materiais didáticos – fotografias, ilustrações, diagramas, tabelas complexas, gráficos – por meio de geração automática de descrições em texto (que podem ser lidas pelo leitor de tela ou convertidas em áudio). Esse é um campo em que a IA tem apresentado contribuições, dado o avanço de modelos de visão computacional capazes de reconhecer elementos em imagens e traduzi-los em legendas em linguagem natural.

Pesquisas recentes focaram em avaliar a qualidade dessas descrições geradas por IA quando aplicadas a material didático. Schauer, Simbeck e Schüssler (2025), por exemplo, discutem um caso de uso em que IA generativa foi empregada para produzir descrições textuais de slides de aula contendo gráficos e esquemas visuais. Eles desenvolveram a ferramenta TRAIL que, usando um modelo de linguagem de última geração, gera textos descritivos detalhados a partir dos elementos identificados nos slides. A avaliação mostrou que as descrições automatizadas facilitaram a compreensão dos conteúdos pelos alunos cegos, embora a ferramenta não atingisse 100% de acurácia – algumas descrições carecia de contexto pedagógico que um professor humano adicionaria. Ainda assim, esse estudo indica que modelos de IA podem “gerar acessibilidade” de forma escalável, atendendo ao apelo de Kim et al. (2021, apud Schauer et al., 2025) por métodos de baixo custo e ampla escala para tornar documentos com elementos visuais acessíveis.

Além de slides e imagens estáticas, outra linha de pesquisa concentra-se na descrição automatizada de gráficos e tabelas. Há algoritmos de IA treinados para interpretar gráficos de barras ou pizza e produzir um sumário em texto do dado ali apresentado – recurso útil para livros didáticos de ciências e matemática, por exemplo. Alguns trabalhos avaliam esses algoritmos em termos de exatidão da informação traduzida; resultados iniciais apontam que, embora a IA identifique tendências gerais, pode perder detalhes ou contextualização, reforçando a necessidade de revisão humana complementar (Tsouktakou et al., 2024).

A partir de uma revisão sistemática de literatura, Perdigão, Pinto e Ferreira (2025) analisaram como a inteligência artificial (IA) tem sido utilizada na geração automatizada de audiodescrições de imagens no contexto da educação a distância (EaD), com foco na acessibilidade para pessoas com deficiência visual. A pesquisa identificou 83 algoritmos e ferramentas de IA recorrentes, como redes neurais convolucionais, modelos multimodais (CLIP, BLIP), arquiteturas sequenciais (LSTM, RNN) e grandes modelos de linguagem (GPT, BERT), aplicados em sua maioria a imagens dinâmicas, mas com potencial de uso para imagens estáticas.

Os autores mapearam ainda 69 bases de dados e destacaram ferramentas complementares como NVDA, JAWS e SeeChart. Contudo, o estudo evidenciou limitações importantes, como o não cumprimento das diretrizes WCAG e a ausência de validação das descrições por consultores cegos. Apesar da diversidade de recursos disponíveis, a automatização da audiodescrição ainda enfrenta desafios relacionados à qualidade das descrições geradas, à necessidade de validação empírica com usuários reais e à falta de aderência a parâmetros de acessibilidade universal. Os achados reforçam o potencial da IA na promoção de inclusão educacional, mas indicam que seu uso deve ser acompanhado de rigor técnico, envolvimento dos usuários finais e aderência a normas internacionais de acessibilidade (Perdigão; Pinto; Ferreira, 2025).

3. Uma experiência de uso da IA para acessibilidade

O Núcleo de Acessibilidade e Inclusão (NAI) do Consórcio Cecierj atua há anos na adaptação de materiais didáticos para estudantes com deficiência, atendendo cursos de graduação a distância oferecidos por universidades públicas do Rio de Janeiro. O NAI, tem dentre seus esforços o atendimento a alunos cegos e de baixa visão por meio da produção de arquivos digitais acessíveis, em diversos formatos. Neste relato, descrevemos inicialmente o fluxo manual empregado pelo núcleo e, em seguida, apresentamos o desenvolvimento e os resultados de um projeto de protótipo de automação desse processo, concebido para incorporar agentes inteligentes de IA.

3.1. Fluxo manual de adaptação utilizando Balabolka (situação atual)

O fluxo de trabalho inicial do NAI/Cederj para adaptar um material didático (por exemplo, um capítulo de livro ou uma apostila de disciplina) pode ser resumido nas seguintes etapas principais:

1. Obtenção do material fonte: O núcleo tem acesso ao conteúdo original dos cursos – geralmente arquivos em PDF ou Word fornecidos pelos setores acadêmicos.
2. Edição e estruturação manual: De posse do texto, inicia-se a formatação acessível. Os adaptadores abrem o arquivo PDF do material no programa Balabolka e salvam no formato TXT. Depois, percorrem o texto inserindo marcações para indicar início e fim de páginas, caixas de textos e outros elementos da estrutura lógica do documento, de forma a manter a hierarquia da informação. Também removem eventuais elementos não essenciais (por exemplo, rodapés repetitivos, numeração excessiva de páginas que pudesse atrapalhar a leitura corrida) e adicionam descrições de imagens e gráficos. Nessa última tarefa, inicialmente era colocado uma mensagem “Neste ponto há uma imagem. Consulte seu mediador.” Contudo, depois de um processo formativo dos bolsistas, começou-se um trabalho de descrição das imagens, que é validado por um consultor cego e depois inserido no texto adaptado. É um processo particularmente trabalhoso. Para cada figura presente no material (PDF), o bolsista adaptador faz a descrição da imagem e envia para o consultor cego para revisão, que devolve com as considerações, só então inseridas no corpo do texto adaptado.
3. Geração de áudio e texto: Uma vez preparado o texto acessível (em formato TXT

estruturado), o bolsista segue à geração do áudio (mp3) e arquivo DOCX, utilizando o software Balabolka. O Balabolka é uma ferramenta de conversão de texto em fala que permite usar vozes sintetizadas. Ao final, o material adaptado é entregue em três formatos: DOCx, TXT e MP3.

Esse processo manual, embora consolidado e capaz de produzir material de alta qualidade, tem limitações evidentes de escala e tempo. A depender do tamanho do material, a adaptação de uma única apostila, dividida em aulas, leva semanas de trabalho. Além disso, tarefas como a descrição de imagens exigem não apenas tempo mas também certa expertise do adaptador em diferentes domínios (biologia, geometria, estatística etc.), tornando a padronização difícil. Diante desses desafios, a coordenação do NAI, através do grupo de pesquisa Libre, investe na formação e acompanhamento de bolsistas pesquisadores ao incentivar experimentações para melhorias de processos. Ao experimentar a incorporação de ferramentas de IA, percebeu-se a potencialidade em automatizar as etapas repetitivas.

3.2. Experimentações em ferramentas de IAG

Buscou-se explorar se modelos de Inteligência Artificial Generativa (IAG) disponíveis publicamente poderiam automatizar essa tarefa com precisão. A hipótese inicial era que, com um prompt cuidadosamente elaborado contendo todas as normativas e regras de adaptação seguidas pelo Núcleo de Acessibilidade e Inclusão (NAI), ferramentas de IA como ChatGPT, Gemini, Claude (Anthropic) e Google Cloud seriam capazes de “ler” o conteúdo de um PDF e gerar uma versão textual acessível, devidamente marcada, sem prejuízo do conteúdo original.

A estratégia envolveu o envio direto do arquivo em PDF das aulas originais para as ferramentas de IA, acompanhado de um comando estruturado com orientações claras sobre como marcar início e fim de páginas, destacar boxes informativos, identificar imagens e suas legendas, e assim por diante. No entanto, os testes revelaram que, embora essas ferramentas estejam em constante evolução, seus resultados, no segundo semestre de 2024, ainda estavam aquém do necessário quando se trata da adaptação de conteúdo educacional acessível com fidelidade integral.

No caso do Claude, da Anthropic, observou-se uma performance promissora em um primeiro momento, o modelo conseguiu interpretar o conteúdo do PDF e inserir as marcações de forma correta. No entanto, após algumas páginas, ele passava a resumir o conteúdo ou simplesmente interrompia a tarefa, alegando preocupações com direitos autorais. Essa limitação, embora compreensível no que diz respeito à ética do uso de dados protegidos, inviabiliza o uso da ferramenta para adaptação de materiais educacionais cujo uso já está autorizado institucionalmente.

No ChatGPT, o desempenho também foi limitado. Embora fosse capaz de inserir as marcações exigidas e compreender a estrutura solicitada, o modelo frequentemente entregava versões resumidas do conteúdo, sem reproduzi-lo integralmente como requisitado. Essa característica compromete o objetivo da adaptação para acessibilidade, pois o estudante cego depende do conteúdo literal do material original, incluindo termos técnicos, exemplos e esquemas que não podem ser resumidos arbitrariamente.

A tentativa com o Gemini, da Google, foi ainda mais insatisfatória, o modelo não conseguiu processar o PDF de forma eficiente e falhou em identificar os elementos gráficos e textuais a serem marcados. A ferramenta simplesmente não respondia de forma compatível com a tarefa esperada.

Por outro lado, um resultado positivo e surpreendente, já no primeiro semestre de 2025, foi obtido com o uso do Google AI Studio, onde o mesmo prompt, acompanhado do PDF, resultou em uma adaptação quase perfeita, necessitando apenas de alguns ajustes. O modelo conseguiu não apenas identificar e reproduzir fielmente o conteúdo textual do material original, como também inseriu corretamente quase todas as marcações de acessibilidade solicitadas, reconhecendo elementos visuais, respeitando a formatação e a organização da aula. Essa experiência reforça a hipótese de que a automação desse tipo de tarefa é não apenas possível, mas desejável, desde que sejam utilizadas as ferramentas corretas e com prompts suficientemente detalhados.

Essa etapa exploratória da pesquisa evidencia o potencial da IA generativa como aliada na promoção da acessibilidade educacional, mas também alerta para a necessidade de critérios rigorosos na escolha das ferramentas e na elaboração dos comandos. A adaptação de material didático para pessoas cegas exige precisão, fidelidade e padronização — aspectos que só podem ser garantidos por sistemas capazes de combinar leitura semântica acurada com respeito à integralidade do conteúdo. A experiência demonstrou que a IA pode ser treinada ou guiada a fazer isso, mas que ainda há um caminho a percorrer para garantir que essa automação seja confiável, ética e institucionalmente viável.

Assim, demos início ao desenvolvimento de um projeto de protótipo de automação do fluxo descrito, tendo como base a utilização da API da IA Gemini da Google. A API fornece acesso via web a diferentes endpoints de serviços de IA, através da ferramenta Google AI Studio, o que permitiu a concepção de uma arquitetura modular de agentes especializados, conforme a seguir.

3.3. Desenvolvimento do protótipo automatizado com API Gemini e agentes de IA

O projeto experimental tem por objetivo automatizar a adaptação de cadernos didáticos do Consórcio CEDERJ, originalmente em PDF, para o formato “.txt”, mp3 e docx com marcações específicas de acessibilidade, conforme exigido pelo Núcleo de Acessibilidade e Inclusão (NAI). Trata-se de uma iniciativa concebida e conduzida por um bolsista sem formação técnica em programação, que se lançou na tentativa de prototipar uma solução de automação com base em interações com ferramentas de Inteligência Artificial (IA), especialmente a API Gemini do Google. A construção relatada reflete, portanto, não apenas um esforço técnico, mas também um processo pedagógico autodirigido de exploração, tentativa e erro, guiado principalmente pelas respostas das próprias ferramentas de IA utilizadas.

O sistema proposto foi dividido em módulos independentes, chamados de “agentes”, cada qual responsável por uma etapa do fluxo de adaptação. Três desses agentes já foram desenvolvidos ou prototipados via Google AI Studio e a plataforma Visual Studio: o AgenteAnalisadorDePDF, o AgenteIdentificadorDeEstrutura e o AgenteMarcadorDeTexto. O primeiro, implementado com a biblioteca PyMuPDF, demonstrou excelente desempenho ao extrair com precisão informações detalhadas dos arquivos PDF, como blocos de texto, posição espacial, fontes, imagens e elementos gráficos. Esses dados são organizados em arquivos JSON, que funcionam como base de dados para os agentes seguintes.

O segundo agente, que utiliza a API Gemini, foi projetado para analisar os elementos extraídos e classificá-los segundo sua função estrutural no material didático (por exemplo, título de seção, parágrafo normal, box explicativo, número de página, imagem ilustrativa). A execução desta tarefa foi possível mediante um processo de engenharia de prompt detalhado, no qual o bolsista, com o auxílio da IA, refinou comandos e parâmetros até alcançar um nível razoável de confiabilidade na classificação. A validação manual dos resultados demonstrou que a IA era capaz de reconhecer corretamente padrões estruturais complexos, o que representa um avanço importante.

O terceiro agente, o Marcador de Texto, também baseado na API Gemini, teve como função aplicar ao conteúdo já estruturado as marcações previstas nas normas do NAI. As regras seguidas incluem tanto transformações textuais quanto indicações sobre como apresentar visualmente determinados elementos (ex.: identificação de siglas, marcação de caixas de texto, apontamento de imagens etc.). Os testes realizados em páginas isoladas demonstraram que o fluxo entre identificação e marcação funciona tecnicamente, embora ainda seja limitado em escala.

Apesar desses avanços, o projeto enfrenta duas limitações críticas que são a quota de uso da versão gratuita da API Gemini e a inexperiência do bolsista idealizador com a programação. Cada elemento do conteúdo precisa ser processado individualmente, o que resulta em centenas de chamadas por caderno. Mesmo com estratégias como inserção de atrasos entre requisições, o sistema rapidamente ultrapassa o limite permitido (cerca de 15 requisições por minuto), tornando inviável sua aplicação a um volume representativo de dados sem acesso a uma conta com faturamento ativo e limites expandidos.

Importa frisar que este projeto ainda não pode ser considerado um protótipo finalizado, mas sim uma proposta de protótipo com módulos experimentais em funcionamento. Ele não possui, por exemplo, integração plena entre os agentes, tampouco inclui ainda os agentes previstos para revisão de conteúdo e geração de áudio, etapas essenciais para um sistema completo de adaptação. Além disso, faltam mecanismos robustos de orquestração entre os módulos e interface de usuário que viabilize o uso por pessoas sem conhecimento técnico.

Ainda assim, o progresso registrado é considerável. O bolsista demonstrou a capacidade da tecnologia em construir uma base sólida e tecnicamente promissora a partir de ferramentas acessíveis, mesmo sem conhecimentos avançados em ciência da computação. Isso indica que, com o envolvimento de especialistas e acesso a recursos computacionais adequados, este projeto pode rapidamente evoluir para uma solução funcional de alto impacto social. Trata-se de uma iniciativa com potencial transformador para os processos de acessibilidade no ensino a distância da Fundação Cecierj, que merece continuidade e investimento.

1. Conclusão

A experiência descrita ao longo deste trabalho evidencia que o projeto de automação da adaptação de materiais didáticos com o uso de agentes baseados em Inteligência Artificial mostrou-se promissor tanto do ponto de vista técnico quanto conceitual. Os testes com ferramentas de IA generativa, especialmente por meio da engenharia de prompts estruturados, validam a hipótese inicial de que essas tecnologias possuem capacidade real de realizar parte substancial do processo de adaptação, com precisão crescente e alinhamento às normas de acessibilidade, como as adotadas pelo NAI/CECIEJ. Embora nem todas as plataformas tenham oferecido respostas satisfatórias, a consistência obtida no Google AI Studio e nas interações com a API Gemini demonstrou que a IA pode sim

identificar estruturas, aplicar marcações e transformar conteúdos conforme padrões predefinidos, respeitando a integridade do material original. A consolidação da proposta de protótipo, baseado em uma arquitetura modular de agentes especializados, representa um avanço estratégico na busca por soluções escaláveis para a acessibilidade educacional. Esse modelo tem potencial para reduzir de forma significativa o tempo de processamento e o esforço manual atualmente exigido no processo de adaptação de cadernos didáticos. Ao automatizar tarefas repetitivas e operacionais, o sistema não apenas aumenta a produtividade da equipe, como também abre novas perspectivas para que o NAI e a Fundação Cecierj possam atender a um número maior de alunos simultaneamente e adaptar mais materiais em paralelo, com maior consistência e qualidade.

Importa destacar, contudo, que essa automação não elimina o papel do adaptador humano, mas o transforma. O profissional da acessibilidade deixa de ser um operador mecânico de marcações e passa a exercer uma função de natureza mais cognitiva e pedagógica. Esse novo perfil profissional atua como curador e editor do conteúdo adaptado por IA, avaliando a pertinência das descrições, personalizando materiais conforme as necessidades individuais de cada estudante, dialogando com professores, tutores e mediadores para garantir que o material atenda não apenas aos critérios técnicos de acessibilidade, mas também aos objetivos pedagógicos da disciplina. A IA, nesse sentido, não substitui o humano, mas amplia sua capacidade de ação.

Ainda assim, é necessário manter atenção às limitações que essa tecnologia e contextos impõe. A dependência de serviços de nuvem e as restrições da versão gratuita da API Gemini representam barreiras técnicas importantes, que só poderão ser superadas mediante investimento institucional e planejamento estratégico de infraestrutura. Além disso, há desafios relacionados à ausência de uma equipe especializada em IA para implementação e acompanhamento, segurança de dados, privacidade e à possibilidade de falhas nos modelos, como erros de classificação ou omissão de informações. Isso reforça a necessidade de ajustes finos e calibragem cuidadosa dos parâmetros dos agentes, para garantir uma operação confiável, segura e eticamente responsável.

A recomendação para que o desenvolvimento do sistema avance para fases mais robustas, é urgente viabilizar o acesso à API Gemini em planos pagos, por meio de uma conta institucional no Google Cloud e a criação de uma equipe técnica dedicada. A partir disso, será possível concluir a implementação dos agentes restantes, testar o sistema com cadernos completos, tratar casos específicos (como fórmulas matemáticas, tabelas e elementos visuais complexos) e, futuramente, desenhar uma interface que democratize seu uso. A experiência aqui relatada demonstra que a IA generativa pode ser uma aliada poderosa da inclusão, mas precisa ser acompanhada por estrutura, continuidade e especialização para cumprir seu papel com responsabilidade e eficácia.

Embora este projeto represente uma resposta eficiente ao desafio da adaptação de conteúdos já existentes, é fundamental apontar para um horizonte mais ambicioso: o de uma educação que adote, desde sua origem, os princípios do Desenho Universal da Aprendizagem (DUA). Nesse futuro desejável, os materiais não precisarão mais ser adaptados, pois já nascerão acessíveis a todos — inclusive a pessoas com deficiência visual. Até lá, iniciativas como esta constituem não apenas avanços técnicos, mas sobretudo movimentos éticos e políticos em favor de uma educação verdadeiramente inclusiva.

Referências Bibliográficas

ALVES, Cássia C. F. *et al.* Assistive technology applied to education of students with visual impairment. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v.26, n.2, p.148-152, 2009. Disponível em: <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/9793/07.pdf?sequence=1>. Acesso em: 02 de ago. 2025.

ALVIM, Lohrrany. *Dispositivo de inteligência artificial ajuda estudantes cegos no Brasil*. Rádio Rio de Janeiro (Blog), 04 ago. 2022. Disponível em: <https://radioriodejaneiro.digital/blog/dispositivo-de-inteligencia-artificial-ajuda-estudantes-cegos-no-brasil/>. Acesso em: 02 ago. 2025.

BE MY EYES. *Be My Eyes introduces Virtual Volunteer: AI-powered assistance for the blind*. Comunicado de imprensa, 14 mar. 2023. Disponível em: <https://www.bemyeyes.com/press/virtual-volunteer-openai>. Acesso em: 01 ago. 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015**. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 jul. 2015.

BRASIL. Ministério da Educação. *Data reafirma os direitos das pessoas com deficiência visual*. Portal MEC, 13 dez. 2019. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/>. Acesso em: 02 ago. 2025.

BRULÉ, Emeline; METATLA, Oussama; SPIEL, Katta; KHARRUFA, Ahmed; ROBINSON, Peter. Evaluating technologies with and for disabled children. In: **CHI 2019 – Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. ACM, 2019. p.1-11.

GROBA ANDRES RIBEIRO, Mariluce; REIS, Haydée M. M. S. **Cultura digital: inovação dos recursos de tecnologia assistiva voltados para a educação de pessoas com deficiência visual**. Revista Eletrônica do Instituto de Humanidades, v.58, p.143-156, 2024.

HAKOBYAN, Lusine; LUMSDEN, Joanna; O’SULLIVAN, Don; BARTLETT, Helen. Mobile assistive technologies for the visually impaired. **Survey of Ophthalmology**, v.58, n.6, p.513-528, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24054999/>. Acesso em: 02 de ago. De 2025.

MICROSOFT. *Seeing AI app from Microsoft narrates the world for the blind*. Microsoft News Center, 27 set. 2017.

PERDIGÃO, Luciana; PINTO, Sergio; FERREIRA, Caio Dias. Revisão sistemática de literatura sobre uso da inteligência artificial para audiodescrição de imagens da EaD. *EaD em Foco*, [S. l.], v. 15, n. 2, e2593, 2025. DOI: <https://doi.org/10.18264/eadf.v15i2.2593>. Disponível em: <https://doi.org/10.18264/eadf.v15i2.2593>. Acesso em: 3 ago. 2025.

SANTOS, Naiara S. dos; SANTANA, Danyele O.; PEREIRA, Cláudia P. Inteligência Artificial e Acessibilidade: uma experiência de inclusão para programadores cegos em ambientes de desenvolvimento. In: **V Simpósio Brasileiro de Educação em Computação (EduComp 2025)** – **Anais**. SBC, 2025. p.502-511.

SCHAUER, Sophie; SIMBECK, Katharina; SCHÜSSLER, Leon. Generating Accessibility: Using AI to Improve Higher Education for the Visually Impaired. In: **17th Int. Conf. on Computer Supported Education (CSEDU 2025)**, Proceedings. Setúbal: SCITEPRESS, 2025. p.15-25.

SEE, Aaron R.; ADVINCULA, Welsey D. Creating Tactile Educational Materials for the Visually Impaired and Blind Students Using AI Cloud Computing. **Applied Sciences**, v.11, n.16, p.7552, 2021. DOI: 10.3390/app11167552.

TSOUKTAKOU, Aikaterini; HAMOUROUDIS, Angelos; CHORTI, Anastasia. The use of artificial intelligence in the education of people with visual impairment. **World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences**, v.13, n.1, p.734-744, 2024. Disponível em:



I SEMINÁRIO

NAI NÚCLEO DE
ACESSIBILIDADE
E INCLUSÃO



I SEMINÁRIO

NAI NÚCLEO DE
ACESSIBILIDADE
E INCLUSÃO



I SEMINÁRIO

NAI NÚCLEO DE
ACESSIBILIDADE
E INCLUSÃO



I SEMINÁRIO

NAI NÚCLEO DE
ACESSIBILIDADE
E INCLUSÃO