

ARTIGO ORIGINAL

# Desenvolvimento de Laptop Acessível com Interface Tátil em Braille e Sistema de Comandos de Voz para Usuários com Deficiência Visual

## Development of an Accessible Laptop with a Braille Tactile Interface and Voice Command System for Users with Visual Impairments

Mariana Rodrigues Villarim <sup>1\*</sup>, Andréa Willa Rodrigues Villarim <sup>1</sup>, Isabela Nascimento Cavaco<sup>1</sup>, Maria Camila Barbosa da Silva<sup>1</sup>, Otilio Joaquim da Silva Filho<sup>2</sup>, Thiago Lopes Quevedo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Camílio Empreendimentos Ltda., <sup>2</sup>Alpha Tecno

\* [marianavillarim12@gmail.com](mailto:marianavillarim12@gmail.com); [andreavillarim@gmail.com](mailto:andreavillarim@gmail.com); [isabela.nascimento@gmail.com](mailto:isabela.nascimento@gmail.com); [mcamila.barbosa96@gmail.com](mailto:mcamila.barbosa96@gmail.com); [otilio.j.filho@gmail.com](mailto:otilio.j.filho@gmail.com); [thiagolopesquevedo@gmail.com](mailto:thiagolopesquevedo@gmail.com)

Recebido: 20/05/2025. Revisado: 18/02/2026. Aceito: 18/03/2026.

### Resumo

A deficiência visual, que varia de baixa visão à cegueira total, representa um dos principais desafios para a inclusão digital e social no Brasil e no mundo. Apesar dos avanços legais no país, como a Lei Brasileira de Inclusão, ainda persistem barreiras significativas no acesso a tecnologias digitais por parte das pessoas com deficiência visual. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um laptop acessível, com interface tátil e comandos de voz, voltado à promoção da autonomia e da inclusão digital de usuários com deficiência visual. A iniciativa foi realizada em parceria entre duas empresas brasileiras, envolvendo a aplicação de metodologias como o funil de decisões, o Design Thinking e o fluxograma de desenvolvimento de produtos. O projeto contemplou a construção de um protótipo físico com carcaça em ABS, teclado com relevo em Braille, sensores de proximidade e localização, além de software com comandos de voz e integração nativa ao sistema operacional. A proposta mostrou-se eficaz na superação de obstáculos tecnológicos, contribuindo para um ambiente digital mais inclusivo e alinhado às diretrizes legais e às demandas sociais contemporâneas.

**Palavras-Chave:** Acessibilidade, Deficiência Visual, Design Centrado no Usuário, Inclusão Digital, Laptop Assistivo.

### Abstract

Visual impairment, ranging from partial limitations to total blindness, remains one of the most critical challenges to digital and social inclusion in Brazil and worldwide. Despite legal advances in the country, such as the Brazilian Inclusion Law, significant barriers still hinder access to digital technologies for visually impaired individuals. This paper presents the development of an accessible laptop featuring a tactile interface and voice commands, aiming to promote autonomy and digital inclusion for visually impaired users. The initiative was carried out through a partnership between two Brazilian companies and applied methodologies such as the decision funnel model, Design Thinking, and a structured product development flow. The project included the construction of a physical prototype with an ABS casing, Braille-labeled keyboard, proximity and location sensors, as well as software with voice command functionality and native OS integration. The proposed solution proved effective in overcoming technological challenges, contributing to a more inclusive digital environment in line with legal frameworks and current social demands.

**Keywords:** Accessibility, Assistive Laptop, Digital Inclusion, User-Centered Design, Visual Impairment.

## 1 Introdução

A deficiência visual, abrangendo desde a cegueira total até limitações parciais de visão, constitui um dos maiores desafios para a inclusão social e digital em escala global. A distinção entre as categorias baseia-se na nitidez visual e no campo visual. A baixa visão é caracterizada por uma nitidez visual entre 0,3 e 0,05 no melhor olho ou um campo visual inferior a 20 graus. Já a cegueira é definida quando a nitidez visual é igual ou menor que 0,05 no melhor olho, ou quando o campo visual é igual ou menor que 10 graus (Brasil, 2004; World Health Organization, 2021). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), mais de 2,2 bilhões de pessoas no mundo vivem com alguma forma de deficiência visual, sendo que pelo menos 1 bilhão desses casos poderiam ser evitados ou ainda não foram tratados adequadamente (Federação Brasileira de Hospitais, 2025).

No Brasil, dados da Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) de 2019 indicam que aproximadamente 6,978 milhões de brasileiros com 2 anos ou mais de idade declararam ter muita dificuldade ou não conseguir enxergar de modo algum, representando 3,4% da população nessa faixa etária (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2020); (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021). Além disso, a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) de 2022 estimou que 18,6 milhões de brasileiros possuem algum tipo de deficiência, o que corresponde a 8,9% da população (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023).

A exclusão digital e a baixa participação no mercado de trabalho são aspectos críticos dessa realidade. De acordo com dados do IBGE, 73,4% das pessoas com deficiência estão fora do mercado de trabalho, e 55% das que estão empregadas atuam na informalidade. Apesar de avanços nas leis brasileiras, como a Lei nº 8.213/1991 (Lei de Cotas) e o Decreto nº 9.508/2018, que promovem a inclusão de Pessoas com Deficiência (PcDs) no mercado de trabalho e no serviço público, ainda existem muitos obstáculos para a plena participação dessa população, principalmente no acesso a tecnologias digitais que atendam às suas necessidades. A Lei Brasileira de Inclusão (Lei nº 13.146/2015) reforça esse direito ao estabelecer, no artigo 63, que os sites de empresas com atuação no Brasil devem ser acessíveis às pessoas com deficiência, seguindo as melhores práticas e diretrizes internacionais de acessibilidade.

A nível global, estima-se que as barreiras de acessibilidade digital impactem diretamente a produtividade e a autonomia de milhões de indivíduos. Segundo dados da União Internacional de Telecomunicações (International Telecommunication Union, 2023), a lacuna na adoção de tecnologias assistivas em países em desenvolvimento é elevada pelo alto custo de dispositivos e pela falta de interfaces adaptadas a idiomas locais.

Diante desse cenário, torna-se urgente o desenvolvimento de soluções tecnológicas inclusivas que promovam a autonomia e a participação ativa das pessoas com deficiência visual na sociedade. Tecnologias assistivas, como dispositivos com interfaces táteis e comandos de voz, têm se mostrado eficazes na promoção da acessibilidade e inclusão digital (Botelho, 2021).

Leitores de tela como o JAWS (*Job Access With Speech*), desenvolvido pela Freedom Scientific, possibilitam que

usuários cegos ou com baixa visão interajam com computadores por meio de síntese de voz ou dispositivos Braille (Barq e Rehan, 2025). Em estudo realizado na Índia, McCarthy et al. (2013) investigaram a adoção e o comportamento entre leitores de tela e pessoas com deficiência visual, apontando o JAWS como a ferramenta mais utilizada, seguido pelo NVDA. Os autores observaram que a qualidade da voz TTS (*Text-to-Speech*) é um fator determinante na adoção inicial, destacando que vozes com características mais humanas são vistas como diferenciais importantes de softwares proprietários em relação às soluções gratuitas e de código aberto.

O NVDA (*NonVisual Desktop Access*), por sua vez, é uma alternativa gratuita e de código aberto que apresenta funcionalidades similares às do JAWS, sendo valorizado pela acessibilidade, compatibilidade com diversos aplicativos e por sua adoção crescente em ambientes educacionais e profissionais. Um estudo recente conduzido por Amin et al. (2025) revelou que o NVDA apresentou resultados positivos em contextos acadêmicos, especialmente no que se refere à melhoria do desempenho estudantil de pessoas com deficiência visual, ressaltando o potencial das soluções open source para ampliar a inclusão digital em ambientes educacionais e profissionais.

No ecossistema da Apple, o VoiceOver configura-se como uma solução nativa que permite a descrição do conteúdo por meio de gestos padronizados executados diretamente sobre a tela, como o toque duplo e o deslize com os dedos, e feedback auditivo, além de oferecer suporte a Braille. De acordo com Liljeström et al. (2024), o VoiceOver no iPhone proporciona uma experiência de navegação acessível e fluida, fundamentada em rótulos claros e comunicação auditiva eficaz. Os autores evidenciam que, embora a rotulagem seja essencial, o avanço da acessibilidade requer abordagens mais abrangentes, como a integração de diferentes gestos, feedback háptico e sonoro, de modo a garantir uma experiência digital verdadeiramente inclusiva e centrada no usuário.

Outro avanço relevante é o OrCam MyEye, um dispositivo portátil que utiliza visão computacional para identificar objetos e ler textos, fornecendo feedback auditivo imediato. Em um estudo prospectivo multicêntrico, Amore et al. (2023) demonstraram que o uso do OrCam melhorou significativamente a execução de tarefas diárias, como leitura, reconhecimento facial e manuseio de dinheiro, com impacto psicossocial positivo. A análise de regressão logística indicou que a eficácia do dispositivo esteve relacionada à idade dos usuários e ao tipo de perda visual.

As tecnologias atuais evidenciam o potencial transformador de dispositivos dotados de interfaces táteis e comandos de voz na promoção da acessibilidade e da inclusão digital de pessoas com deficiência visual. Apesar dos avanços, persistem desafios relevantes, como a adaptação de sistemas operacionais para o reconhecimento eficaz de comandos em língua portuguesa e a integração de múltiplas tecnologias assistivas em dispositivos que sejam, ao mesmo tempo, acessíveis e de baixo custo. Diante desse cenário, torna-se relevante e necessário o desenvolvimento de soluções tecnológicas inclusivas, capazes de atender às demandas específicas desse público, promovendo sua autonomia e sua plena participação na vida social.

Nesse contexto, este artigo propõe o desenvolvimento

de um laptop acessível, equipado com interface tátil em Braille e comandos de voz, concebido para responder às necessidades particulares de pessoas com deficiência visual. O projeto resulta de uma colaboração entre a Camilio Empreendimentos LTDA, empresa especializada na gestão e comercialização de equipamentos de informática, e a Alpha Tecnove LTDA, que atua no setor de inovação tecnológica, com ênfase em soluções elétricas, eletrônicas e mecânicas voltadas para políticas públicas. A iniciativa visa contribuir para a superação das barreiras tecnológicas existentes e fomentar uma inclusão digital mais efetiva, em consonância com as diretrizes legais e os avanços contemporâneos em tecnologia assistiva.

O artigo está estruturado em cinco seções principais. A [Seção 2](#) apresenta uma revisão bibliográfica abrangente, discutindo os fundamentos da acessibilidade digital e da inclusão social, as principais tecnologias assistivas destinadas a pessoas com deficiência visual e as abordagens atuais na configuração de interfaces adaptadas. A [Seção 3](#) descreve a metodologia utilizada no desenvolvimento do protótipo do laptop acessível, detalhando o processo de design, a seleção das tecnologias assistivas e os procedimentos de teste adotados. A [Seção 4](#) discute os resultados obtidos, enfatizando a eficácia da solução proposta na promoção da autonomia e da inclusão digital do público-alvo. Por fim, a [Seção 5](#) apresenta as considerações finais do estudo, abordando suas implicações sociais e educacionais, bem como propondo direções para pesquisas futuras na área de tecnologias assistivas.

## 2 Revisão Bibliográfica

Nos últimos anos, a literatura científica tem evidenciado uma crescente preocupação em desenvolver soluções computacionais que contribuam para a autonomia e participação ativa de pessoas com deficiência visual na vida social, educacional e profissional. O presente estudo parte do entendimento de que a inclusão digital de pessoas desse grupo depende, essencialmente, do acesso a tecnologias assistivas que sejam não apenas funcionais e acessíveis, mas também sensíveis às realidades culturais e sociais dos usuários.

Diante desse cenário, esta seção reúne e analisa contribuições relevantes da literatura, organizadas em cinco eixos temáticos, sendo eles: fundamentos de acessibilidade digital e inclusão social; tecnologias assistivas para pessoas com deficiência visual; tendências atuais no design de interfaces adaptadas; aplicação da manufatura aditiva em dispositivos assistivos; e desafios para a efetiva integração tecnológica assistiva. Esses tópicos oferecem o suporte teórico necessário para fundamentar a proposta deste trabalho.

### 2.1 Fundamentos de acessibilidade digital e inclusão social

A acessibilidade digital voltada a pessoas com deficiência visual é uma área em constante transformação, impulsionada tanto pelos avanços da tecnologia quanto pela demanda crescente por inclusão. Conforme apontado por [Zen et al. \(2023\)](#), a tecnologia assistiva tem um papel cen-

tral nesse processo, pois oferece suporte para que pessoas com deficiência visual possam desenvolver atividades com mais autonomia e independência. Entre os recursos disponíveis, destacam-se os leitores de tela, que transformam o conteúdo visual em áudio, e os dispositivos de entrada adaptados, como teclados e mouses modificados ou operados por comandos de voz, que viabilizam a interação com as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs). Esses recursos são essenciais para garantir que essas pessoas possam acessar informações e utilizar plataformas digitais de maneira autônoma e eficaz.

Estudos recentes também chamam atenção para a importância de levar em conta as experiências e obstáculos enfrentados por esse público. Uma revisão conduzida por [Hamideh Kerdar et al. \(2024\)](#) revelou que muitos sites e aplicativos ainda são pensados prioritariamente para pessoas sem deficiência visual, deixando de oferecer alternativas acessíveis para quem depende de tecnologias assistivas. Um exemplo disso é a ausência de descrições alternativas para imagens e gráficos, o que compromete tanto a navegação quanto a compreensão do conteúdo.

Para garantir ambientes digitais realmente inclusivos, é fundamental a adoção de diretrizes de acessibilidade amplamente reconhecidas, como as *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG), elaboradas pelo *World Wide Web Consortium* (W3C). Essas diretrizes fornecem recomendações técnicas para tornar o conteúdo digital perceptível, operável, compreensível e robusto, abrangendo aspectos como descrição textual de elementos visuais, contraste de cores, navegação por teclado, e compatibilidade com leitores de tela ([World Wide Web Consortium \(W3C\), 2018](#)). Contudo, a simples adoção das WCAG não garante automaticamente a acessibilidade plena, pois é necessário um processo contínuo de avaliação e adaptação com usuários com deficiência ([Kumar et al., 2021](#)).

As iniciativas voltadas à inclusão digital devem considerar as desigualdades sociais que muitas vezes amplificam a exclusão digital. De acordo com o [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística \(2023\)](#), pessoas com deficiência no Brasil têm menor acesso à educação, ao mercado de trabalho e à renda, fatores que impactam diretamente sua relação com as tecnologias digitais. Assim, soluções acessíveis devem ser também economicamente viáveis, considerando realidades de baixo custo e contextos de vulnerabilidade social.

Nesse cenário, compreender os fundamentos da acessibilidade digital e os princípios da inclusão se mostra essencial para a construção de dispositivos e interfaces tecnológicas que atendam às demandas específicas de pessoas com deficiência visual. A análise cuidadosa das barreiras existentes e das soluções emergentes oferece um ponto de partida crucial para o desenvolvimento de tecnologias verdadeiramente inclusivas e eficazes.

### 2.2 Tecnologias assistivas para pessoas com deficiência visual

O desenvolvimento de tecnologias assistivas tem desempenhado papel crucial na promoção da acessibilidade digital, especialmente para pessoas com deficiência visual. Entre os recursos consolidados, destacam-se os leitores de tela como o JAWS (Job Access With Speech), NVDA (NonVisual

Desktop Access) e VoiceOver, que permitem a conversão de informações visuais em áudio ou Braille, viabilizando a navegação em sistemas operacionais, websites e aplicativos diversos (McCarthy et al., 2013); (Amin et al., 2025); (Liljeström et al., 2024).

O JAWS, desenvolvido pela Freedom Scientific, é um dos leitores de tela mais utilizados globalmente, com destaque para sua qualidade na síntese de voz e suporte técnico especializado (McCarthy et al., 2013). O NVDA, por sua vez, representa uma alternativa gratuita e de código aberto, sendo valorizado pela sua compatibilidade com diversos softwares e seu impacto positivo em ambientes acadêmicos, conforme evidenciado por Amin et al. (2025). Já o VoiceOver, sistema nativo dos dispositivos Apple, destaca-se pela integração com gestos, feedback tátil e suporte a Braille, proporcionando uma experiência fluida e centrada no usuário (Liljeström et al., 2024).

Além dos leitores de tela, assistentes virtuais ativados por voz, como a Siri e a Alexa, têm sido amplamente empregados. Embora desenvolvidos para o público em geral, esses assistentes oferecem funcionalidades úteis às pessoas com deficiência visual, como leitura de mensagens, navegação por comandos de voz e acesso a conteúdos digitais. No entanto, ainda enfrentam desafios relacionados à personalização da experiência e à proteção de dados sensíveis (Oumard et al., 2022a).

Mais recentemente, tecnologias baseadas em inteligência artificial têm expandido as possibilidades de interação. Um exemplo é o sistema Iris, que combina câmeras integradas e processamento de linguagem natural para descrever ambientes em tempo real. Essa abordagem tem ampliado a autonomia dos usuários ao permitir a descrição sonora de elementos visuais e a navegação assistida por voz (Brilli et al., 2024).

Outro recurso relevante é o OrCam MyEye, dispositivo portátil que emprega visão computacional para leitura de textos, identificação de objetos e reconhecimento facial. Segundo Amore et al. (2023), o uso do OrCam proporcionou ganhos significativos na execução de tarefas diárias e impactou positivamente a autoestima dos usuários.

Nesse contexto, a integração entre soluções consolidadas, como leitores de tela e assistentes de voz, e tecnologias emergentes baseadas em inteligência artificial configura uma estratégia promissora para o desenvolvimento de dispositivos acessíveis. Tais recursos fundamentam a proposta deste projeto, que busca combinar interfaces táteis, feedback auditivo e controle por voz em um laptop inclusivo, promovendo maior autonomia e inclusão para pessoas com deficiência visual.

### 2.3 Tendências atuais no design de interfaces adaptadas

Ao compreender as ferramentas tecnológicas que já vêm sendo empregadas com sucesso no apoio à navegação digital de pessoas com deficiência visual, torna-se possível avançar para uma discussão sobre como o design de interfaces pode potencializar ainda mais essa experiência. Isso exige ir além da funcionalidade das tecnologias assistivas, atentando-se às abordagens contemporâneas que buscam tornar a interação mais fluida, responsiva e significativa para esse público.

Nas últimas décadas, pesquisadores têm se dedicado ao aprimoramento de interfaces voltadas para pessoas com deficiência visual, reconhecendo que a simples digitalização de conteúdos não é suficiente para garantir uma experiência inclusiva. Soltani et al. (2025) chamam a atenção para a importância de integrar recursos como orientação espacial e feedback multimodal, combinando estímulos sonoros e táteis, para favorecer a construção de mapas mentais e facilitar tanto a navegação quanto a interação com diferentes dispositivos.

Nesse mesmo campo, surgem investigações sobre o uso de tecnologias imersivas, como a realidade estendida (XR), como ferramentas de apoio para ampliar a percepção ambiental de usuários com perda de visão. Um levantamento conduzido por Kasowski et al. (2023), que analisou 227 publicações sobre o tema, destaca o potencial da XR, mas também aponta desafios, como sistemas que ainda carecem de testes em ambientes reais e da participação ativa de usuários no processo de desenvolvimento, o que compromete a efetividade e aplicabilidade dessas soluções.

Outro ponto relevante envolve a adaptação dos espaços de acesso à informação. Alabi e Mutula (2020), por exemplo, analisaram a atuação de bibliotecas acadêmicas no suporte a estudantes com deficiência visual, evidenciando a importância da oferta de tecnologias assistivas ajustadas às necessidades individuais e da garantia de que os conteúdos estejam de fato acessíveis.

As inovações no design de interfaces adaptadas demonstram o quanto a experiência do usuário com deficiência visual pode ser aprimorada por meio de abordagens sensoriais múltiplas e soluções imersivas. No entanto, para que essas ideias se tornem palpáveis, é necessário considerar os métodos de produção que possibilitam sua materialização com eficiência e acessibilidade. Nesse sentido, a manufatura aditiva surge como uma alternativa promissora para a criação de dispositivos assistivos personalizados e de baixo custo.

### 2.4 Aplicações de manufatura aditiva em dispositivos assistivos

Embora existam soluções consolidadas no mercado para a exibição de caracteres em Braille, o elevado custo de aquisição torna essas tecnologias inacessíveis para a maior parte da população. De acordo com Ariza e Pearce (2022), a utilização de componentes eletrônicos de prateleira e técnicas de manufatura aditiva, como a impressão 3D, tem sido explorada como uma solução viável para reduzir o custo de produção de periféricos assistivos sem sacrificar a precisão da resposta tátil.

Além disso, a pesquisa de Barros et al. (2023) investigou a eficácia da impressão 3D na criação de conteúdo tátil para usuários com deficiência visual. Os resultados indicaram que materiais à base de celulose, impressos em 3D, podem ser utilizados para criar conteúdos táteis com alta aderência e baixo custo, facilitando a produção de materiais educativos e informativos acessíveis.

A manufatura aditiva permite não apenas a criação de protótipos rápidos, mas também a modificação de dispositivos já existentes, ajustando-os às preferências ou limitações de cada usuário. Essa flexibilidade tem contribuído significativamente para o fortalecimento da autonomia e

da inclusão, ao oferecer soluções mais próximas da realidade de quem as utiliza.

A aplicação da manufatura aditiva representa um avanço significativo na democratização do acesso às tecnologias, tornando-as mais acessíveis, customizáveis e próximas da realidade dos usuários. No entanto, mesmo com tais progressos, persistem desafios importantes relacionados à implementação, adoção e sustentabilidade dessas inovações.

## 2.5 Desafios para a efetiva integração tecnológica assistiva

Apesar dos avanços, ainda existem desafios significativos na implementação de tecnologias assistivas. A revisão de literatura realizada por Zen et al. (2023) identificou que muitos recursos desenvolvidos focam apenas na extensão da interface visual, negligenciando outras modalidades sensoriais. Além disso, questões como custo, usabilidade e adaptação cultural continuam sendo barreiras para a adoção ampla dessas tecnologias.

Uma revisão de escopo conduzida por Hamideh Kerdar et al. (2024) apontou que a falta de alternativas adequadas para usuários de tecnologias assistivas em aplicativos e sites desenvolvidos compromete a acessibilidade e a usabilidade dessas plataformas. A implementação de diretrizes de acessibilidade, é fundamental, mas é necessário um esforço contínuo para adaptar essas diretrizes às necessidades específicas de pessoas com deficiência visual.

Além disso, a integração de tecnologias emergentes, como inteligência artificial e realidade estendida, apresenta desafios relacionados à ética, privacidade e adaptabilidade. A revisão de Naayini et al. (2025) destacou a necessidade de colaboração interdisciplinar para refinar essas tecnologias, garantindo acesso equitativo e inovação sustentável.

Diante dos desafios identificados na literatura, evidencia-se a necessidade de abordagens práticas e investigativas que contribuam para o enfrentamento dessas limitações. A compreensão dos entraves técnicos, sociais e estruturais reforça a importância de metodologias que viabilizem soluções aplicáveis e centradas no usuário.

## 3 Materiais e métodos

O projeto tem como objetivo desenvolver um laptop acessível para pessoas com deficiência visual, integrando uma estrutura física adaptada com relevos em Braille, software de acessibilidade, e componentes eletrônicos voltados à localização e detecção de proximidade. O processo de desenvolvimento foi estruturado em duas etapas principais, que abordaram separadamente os aspectos de hardware e software do dispositivo. A iniciativa foi coordenada pela empresa Camílio Empreendimentos LTDA, responsável pela gestão financeira, administrativa e técnica. A execução prática do desenvolvimento do produto ficou a cargo da empresa parceira Alpha Tecnove LTDA.

A metodologia adotada no projeto combinou abordagens consagradas no desenvolvimento de produtos com foco em inovação e usabilidade. Inicialmente, foi seguido o modelo de funil de decisões proposto por Baxter (2021),

o qual estrutura o processo de desenvolvimento em etapas sequenciais de tomada de decisão, indo da concepção à implementação. Esse modelo permite um refinamento progressivo das ideias, com filtros decisórios em cada fase para garantir que apenas as alternativas mais viáveis avancem no processo.

Paralelamente, utilizou-se o fluxograma de desenvolvimento de produtos sugerido por Rozenfeld et al. (2006), que organiza as atividades em macrofases, como planejamento, concepção, detalhamento e preparação para produção, proporcionando uma visão sistêmica e integrada do projeto. Essa estrutura facilitou o gerenciamento das tarefas técnicas, especialmente no alinhamento entre as etapas de hardware e software.

Complementando essas abordagens, foi empregada a metodologia de *Design Thinking*, visando promover uma abordagem centrada no usuário final, neste caso, pessoas com deficiência visual. A aplicação do *Design Thinking* ocorreu em ciclos iterativos, passando pelas fases de imersão, ideação, prototipagem e testes de usabilidade. Isso possibilitou uma compreensão profunda das reais necessidades dos usuários, contribuindo para a solução do projeto.

Embora o cronograma original previsse avanços graduais ao longo de 12 meses, na primeira etapa foram entregues: um protótipo físico funcional do dispositivo; o sistema de acessibilidade implementado e testado pela equipe desenvolvedora e parceiros (com recursos como comandos de voz, reconhecimento de texto e integração com ferramentas nativas do sistema operacional Windows); além dos relatórios técnicos e financeiros parciais, conforme o planejado. Também foram realizados os devidos depósitos junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), referentes ao pedido de patente, registro de desenho industrial, registro de software e registro de topologia de circuito integrado.

Durante a execução do projeto, foram identificadas algumas dificuldades técnicas, logísticas e operacionais, que demandaram a adoção de ações corretivas em múltiplas frentes. No âmbito técnico, um dos principais entraves foi a adaptação do sistema operacional Windows para o reconhecimento e execução de comandos por voz em língua portuguesa, cuja limitação de suporte impôs desafios significativos ao desenvolvimento da proposta.

Do ponto de vista logístico, a aquisição de insumos e equipamentos especializados representou um obstáculo relevante, especialmente no que se refere à produção de componentes por meio de impressão 3D, tanto pela limitada disponibilidade de materiais quanto pelas restrições técnicas associadas à manufatura das peças. Além disso, a elevada complexidade de integração entre diferentes áreas técnicas exigiu o fortalecimento dos mecanismos de comunicação, a fim de garantir alinhamento entre os subsistemas e mitigar possíveis falhas.

Diante desse panorama metodológico e operacional, estruturou-se o desenvolvimento do projeto, de forma modular e integrada: a primeira voltada ao projeto e construção do hardware acessível, e a segunda dedicada à concepção e implementação das soluções de software assistivo. A seguir, apresentam-se em detalhes as etapas e a metodologia específica adotada de cada, conforme descrito na Seção 3.1 (Desenvolvimento de hardware) e na Seção 3.2 (Programa de software para acessibilidade).

### 3.1 Desenvolvimento de hardware

Inicialmente, para o desenvolvimento da parte física, foram definidos os principais atributos para a produção do laptop voltado à acessibilidade de pessoas com deficiência (PCD) visual e/ou motora. O produto foi projetado para ter sua carcaça desenvolvida e manufaturada em polímero acrilonitrila butadieno estireno (ABS), com relevos em braille na estrutura e teclado, sensor de proximidade, sensor de localização, câmera, microfone e software dedicado à acessibilidade, ilustrado na Fig. 1.

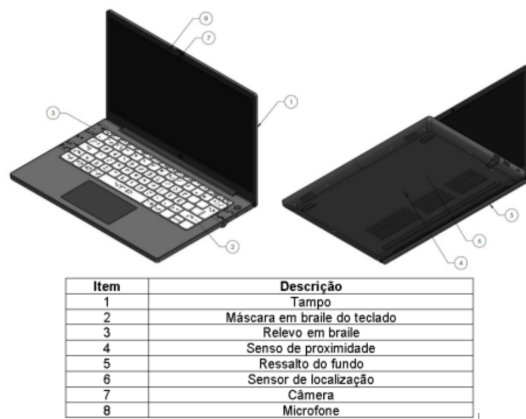


Figura 1: Projeto Conceitual.

Para possibilitar o upgrade dos componentes de hardware, a estrutura foi idealizada com travas capazes de suportar um ciclo de vida superior ao dos laptops disponíveis no mercado. As travas e simulações mecânicas foram desenvolvidas no software definido para o projeto conceitual. Ao todo, foram realizados quatro projetos para o sistema de trava. Em cada modelo, foi estabelecida uma condição de contorno conforme mostrado na Fig. 1, com força aplicada de 15 N, material em ABS, e forças nos sentidos horizontal e vertical, além de refinamento de malha no ponto de encaixe da trava.

De acordo com as simulações Fig. 2, as tensões aplicadas são inferiores ao limite de escoamento de  $2,5e7$  N/m<sup>2</sup>, validando o modelo para o teste prático. Com a força aplicada, as tensões foram de  $1,845e7$  N/m<sup>2</sup> e  $2,448e6$  N/m<sup>2</sup> nos sentidos vertical e horizontal, respectivamente. O maior deslocamento ocorreu no sentido horizontal, com valor de 0,0144 mm.

Visando a melhor usabilidade, o laptop conta com um sistema de hardware para indicar a proximidade com a superfície onde o dispositivo será acomodado. Além disso, o projeto da estrutura física incorporou soluções como travas modulares, relevos em Braille, um sistema de dissipação de calor e módulos de localização, todos integrados ao chassi em ABS. Os relevos em Braille foram aplicados estrategicamente no teclado e na carcaça para proporcionar uma experiência tátil acessível. Já os sensores de proximidade e localização aumentam a segurança e a praticidade, auxiliando o usuário na interação com o equipamento e na

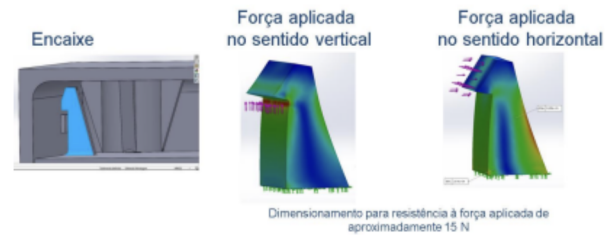


Figura 2: Simulações Computacionais das Travas.

sua localização em caso de perda. O design modular, por sua vez, permite atualizações pontuais de hardware, o que prolonga o ciclo de vida do produto, reduz a necessidade de substituições completas e contribui para a sustentabilidade e a economia a longo prazo.

Com a estrutura física do laptop definida e validada por meio de simulações mecânicas, o projeto avançou para as etapas de fabricação e montagem. A seguir, detalham-se os processos adotados para a produção da carcaça por impressão 3D e, posteriormente, os procedimentos empregados na montagem final do dispositivo. Essa divisão visa organizar as etapas práticas de desenvolvimento do hardware, da produção das peças até sua integração em um sistema funcional e acessível.

#### 3.1.1 Processo de Fabricação por Impressão 3D

O processo de manufatura foi concebido para atender às exigências de precisão e adaptabilidade do projeto, especialmente considerando os elementos de acessibilidade e o design modular. Para isso, optou-se pelo uso da impressão 3D como solução versátil e viável para a produção das peças estruturais.

O processo de manufatura foi dividido em duas etapas. Inicialmente, devido à limitação das impressoras 3D disponíveis, a carcaça, tampa e moldura foram segmentadas em quatro partes, exigindo emendas e acabamento posterior. Com recursos do projeto, foram adquiridas duas impressoras 3D GTMAX® (modelos A3V3 e M4), que permitiram a fabricação das peças em tamanho integral, com maior robustez e melhor acabamento superficial.

A impressão foi realizada com o software Simplify3D®, também adquirido com recursos do projeto, utilizando os seguintes parâmetros: Altura de camada: 0,16 mm; Perímetros: 4; Camadas superiores: 7; Camadas inferiores: 5; Largura de extrusão: 0,4 mm; Preenchimento: 20%, padrão retilíneo com ângulos de 45° e -45°; Material: ABS; Essas configurações foram definidas com base em testes preliminares para garantir qualidade dimensional, resistência mecânica e estabilidade térmica sob uso contínuo.

Concluída a etapa de fabricação das peças físicas por meio da impressão 3D, a próxima fase concentrou-se na montagem do laptop. Essa etapa foi organizada em fases bem definidas para garantir a correta integração dos componentes estruturais, eletrônicos e sensoriais, respeitando as premissas de acessibilidade e modularidade estabelecidas desde o início do projeto.

### 3.1.2 Montagem do Laptop

A montagem do laptop foi organizada em quatro etapas principais: montagem da estrutura do monitor; instalação do teclado e touchpad; fixação da tampa inferior, que abriga a placa-mãe; e aplicação dos elementos em Braille nas teclas de digitação. A montagem final é apresentada na Fig. 3, mostrando as marcações em Braille no teclado e nas laterais, que indicam entradas USB, conector de energia e demais interfaces.



Figura 3: Montagem final.

Por fim, o laptop ficou equipado com peças monolíticas, destacando a vista superior com os indicativos em Braille e logos das instituições, a parte inferior com pontos de suporte para impressão e a vista frontal do laptop aberto, com as marcações em Braille no teclado.

## 3.2 Programa de software para acessibilidade

O objetivo desta etapa é conceber uma solução de software que assegure a plena acessibilidade de usuários com deficiência visual e/ou mobilidade reduzida. Para tanto, a implementação do módulo teve início pelo levantamento de requisitos, seguido de um planejamento detalhado e do refinamento das especificações. Como passo inicial, realizou-se uma análise crítica de aplicações e ferramentas de acessibilidade nativas, tais como Windows Speech Recognition (Windows), NVDA (NonVisual Desktop Access), VoiceOver (macOS) e Orca (Linux), visando identificar suas limitações e oportunidades de aprimoramento. Após análise comparativa, o Windows foi eleito como plataforma-padrão do projeto, em razão de seus mecanismos nativos de acessibilidade, ainda que parciais, e de sua ampla adoção nacional, serem fatores que potencializam a difusão da solução desenvolvida. Em seguida, investigaram-se em profundidade os recursos assistivos nativos, Narrador, Lupa e Teclado Virtual, e constatou-se que todos dependem do uso de periféricos (mouse ou teclado físico), tornando-os ineficazes para usuários com limitações motoras, que não

conseguem manipulá-los.

Embora o *Windows Speech Recognition* (WSR) seja uma ferramenta valiosa para usuários com deficiência motora e reconhecida por promover inclusão de pessoas com mobilidade reduzida, ela não possui suporte ao idioma português. Essa lacuna configura um obstáculo relevante à acessibilidade no contexto brasileiro.

Portanto, identificou-se a necessidade de desenvolver um sistema com interface intuitiva e simplificada, capaz de integrar as ferramentas de acessibilidade já disponíveis no Windows e de viabilizar a execução de tarefas cotidianas em computador, como pesquisas na internet, navegação de arquivos e outras por meio de comandos de voz.

Com base nesse diagnóstico, definiu-se a estratégia de desenvolvimento da solução customizada, voltada à superação das limitações observadas e à promoção de uma experiência mais inclusiva e funcional. A seguir, detalha-se o processo de construção do software acessível, desde a escolha da linguagem até a estrutura modular da aplicação.

### 3.2.1 Desenvolvimento da Solução

Dessa forma, iniciou-se o desenvolvimento de uma aplicação desktop customizada em Python, escolhido por sua robustez, ampla comunidade e facilidade de integração, utilizando as bibliotecas `speech_recognition`, `pyautogui` e `pycaw`, selecionadas por sua adequação aos requisitos do projeto. Essa solução proprietária viabiliza o controle por voz em língua portuguesa, supera as limitações das ferramentas nativas do sistema e assegura uma experiência de acessibilidade mais completa aos usuários.

A aplicação opera em dois módulos principais: - Reconhecimento e execução de comandos por voz: Um sistema de reconhecimento de voz interpreta comandos específicos do usuário, por exemplo, abrir o navegador, navegar em pastas, ditar texto, controlar volume ou acionar o leitor de tela, e aciona as funcionalidades correspondentes no ambiente Windows. - Feedback ao usuário: Após o processamento de cada comando, o sistema exibe mensagens de confirmação em tela e, quando apropriado, emite respostas por síntese de voz, garantindo ao usuário o acompanhamento claro das ações realizadas.

Além disso, foram incorporadas funcionalidades complementares para otimizar o uso cotidiano do computador, integrando-se aos recursos de acessibilidade nativos do Windows. As ferramentas que foram consideradas na elaboração do sistema estão listadas na Tabela 1.

Esses recursos adicionais visam simplificar tarefas rotineiras e ampliar o grau de autonomia dos usuários com deficiência visual e/ou mobilidade reduzida.

Assim, está sendo desenvolvido um sistema que auxilia a utilização das ferramentas de acessibilidade nativas do sistema operacional Windows.

Com o desenvolvimento funcional da aplicação em andamento, a etapa seguinte concentrou-se na validação do sistema por meio de testes práticos. Essa fase foi essencial para garantir a conformidade com os requisitos definidos e avaliar a eficácia da solução em situações reais de uso, conforme descrito a seguir.

### 3.2.2 Testes e validação

A fase de testes foi conduzida com o propósito de verificar a conformidade do sistema com os requisitos funcionais pre-

**Tabela 1:** Ferramentas de acessibilidade incorporadas ao sistema

| Ação  |
|---|
| Ativar a ferramenta de lupa                           |
| Ativar teclado virtual                                |
| Ativar narrador                                       |
| Alternar entre aplicações em execução                 |
| Abrir aplicação de bloco de notas                     |
| Abrir página de navegador na web e realizar pesquisas |
| Escrever textos                                       |
| Aumentar o volume do áudio do sistema                 |
| Diminuir o volume do áudio do sistema                 |
| Desativar volume do áudio do sistema                  |
| Abrir explorador de arquivos do sistema               |
| Fechar explorador de arquivos do sistema              |
| Falar pasta atual                                     |
| Falar os arquivos presentes na pasta atual            |
| Falar as pastas presentes na pasta atual              |
| Fechar o programa                                     |

viamente definidos, bem como sua compatibilidade com o ambiente Windows, assegurando a eficácia da solução no atendimento às demandas de acessibilidade. Portanto, os testes de funcionalidade centraram-se na avaliação do desempenho do sistema no reconhecimento e interpretação de comandos de voz. Os resultados indicaram que, em ambientes silenciosos, o sistema apresentou elevado índice de acerto, demonstrando sua viabilidade para usuários com deficiência motora e/ou visual.

Além disso, foi desenvolvido um protótipo de interface gráfica com o objetivo de proporcionar maior autonomia ao usuário na configuração e personalização das ferramentas assistivas integradas à aplicação. A interface permite tanto a modificação de funcionalidades previamente selecionadas quanto a inclusão de novos recursos, promovendo flexibilidade de uso. Até o momento, a interface encontra-se em estágio intermediário de desenvolvimento, contando com duas telas principais: a tela inicial, ilustrada na Fig. 4, e a tela de configurações, ilustrada na Fig. 5. A tela inicial oferece três opções: “Iniciar”, que ativa o módulo principal da aplicação e inicia a escuta de comandos de voz; “Configurar”, que direciona à tela de configurações Figura, onde é possível ativar ou desativar funcionalidades específicas; e “Sair”, que encerra a aplicação. Esses elementos reforçam a proposta de acessibilidade da solução, ao proporcionar uma experiência de uso personalizada, simplificada e adaptada às necessidades dos usuários-alvo.

## 4 Discussão

A inclusão digital não se resume ao acesso à internet, mas à capacidade de manipular ferramentas de produtividade e educação de forma autônoma. O desenvolvimento de um laptop acessível, equipado com interface tátil em Braille e comandos de voz, representa um avanço significativo para a inclusão tecnológica de pessoas com deficiência visual, alinhado aos objetivos iniciais do projeto. Os resultados indicam que a combinação de tecnologias assistivas, juntamente com um design físico adaptado e o uso da manufatura aditiva, oferece uma solução inovadora que atende às necessidades reais desse público.

**Figura 4:** Página inicial da interface desenvolvida para o IARA.**Figura 5:** Página de configuração da interface desenvolvida para o IARA.

A literatura enfatiza a importância de dispositivos que integrem múltiplos modos de interação para ampliar a acessibilidade, como interfaces táteis e controle por voz, uma vez que esses recursos possibilitam superar as limitações causadas pela deficiência visual, promovendo autonomia e inclusão digital (Alabi e Mutula, 2020); (Oumard et al., 2022a). A utilização do Braille em relevo na carcaça e no teclado do laptop facilita a navegação tátil e complementa as funcionalidades do software de reconhecimento de voz, beneficiando usuários com diferentes níveis de familiaridade tecnológica (American Foundation for the Blind (AFB), 2023).

A manufatura aditiva, especialmente a impressão 3D para a produção das peças, mostrou-se uma estratégia eficaz para a rápida prototipagem, personalização e redução de custos, aspectos apontados por Barros et al. (2023) como essenciais para dispositivos assistivos contemporâneos. O design modular, com travas que permitem a atualização dos componentes, está alinhado a práticas sustentáveis e de economia circular, prolongando a vida útil do equipamento e minimizando o impacto ambiental, uma tendência crescente no desenvolvimento de tecnologias inclusivas (Baxter, 2021); (Rozenfeld et al., 2006).

Entre os desafios técnicos enfrentados, destacam-se a garantia da precisão do feedback tátil e a robustez do sistema de reconhecimento de voz em português, questões que também aparecem na literatura, que ressalta a importância da personalização e adaptação cultural em tecnologias assistivas (Hamideh Kerdar et al., 2024); (Oumard et al., 2022b). A validação inicial do protótipo aponta

para a efetividade do sistema, embora seja necessária a ampliação dos testes com usuários reais para aperfeiçoar a interface, aprimorar a experiência e fomentar maior aceitação social.

Além dos impactos tecnológicos, o projeto contribui para a inclusão social ao reduzir barreiras que limitam o acesso de pessoas com deficiência visual ao mercado digital e ao trabalho, questão apontada como relevante no Brasil por dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023). Dessa forma, a iniciativa exerce papel estratégico na promoção da equidade e do direito à acessibilidade, conforme previsto em legislações nacionais e internacionais (Brasil, 2015); (World Health Organization (WHO), 2021).

Os testes de usabilidade previstos encontram-se em estágio de alinhamento com associações representativas e entidades especializadas. Esta etapa é essencial para o estabelecimento de protocolos de teste que respeitem as normas éticas de acessibilidade e garantam uma amostra diversa, abrangendo diferentes graus de acuidade visual, assegurando assim a validade estatística e integrando o feedback dos usuários finais de forma iterativa ao aperfeiçoamento do projeto.

Por fim, o projeto abre novas perspectivas para pesquisas e desenvolvimentos futuros, especialmente no uso da inteligência artificial aplicada a comandos de voz, realidade aumentada para orientação espacial e personalização da interface por meio de aprendizado de máquina, identificadas como tendências promissoras para a acessibilidade digital (Brilli et al., 2024); (Naayini et al., 2025); (Kasowski et al., 2023). Essas inovações têm o potencial de ampliar ainda mais a autonomia e a qualidade de vida das pessoas com deficiência visual.

## 5 Conclusões

O desenvolvimento do laptop voltado à acessibilidade e inclusão de pessoas com deficiência visual demonstrou ser tecnicamente viável, socialmente relevante e alinhado aos princípios de inovação inclusiva. A execução plena do projeto, com cumprimento dos prazos e superação de obstáculos operacionais, evidencia a competência da equipe envolvida e a solidez da proposta.

O sistema próprio de acessibilidade com comandos de voz em português, aliado à adaptação física com marcações em braille e ao uso de manufatura aditiva, representa uma contribuição original e efetiva frente às limitações observadas em soluções comerciais atualmente disponíveis. Além do protótipo funcional, o projeto gerou resultados concretos em termos de produção científica, visibilidade comercial e proteção da propriedade intelectual.

As perspectivas futuras indicam um caminho promissor para a consolidação da tecnologia, com foco na validação ampliada com usuários reais, formação de parcerias estratégicas e expansão em escala. A intenção é integrar o dispositivo a sistemas educacionais e plataformas de ensino a distância, o que reforça o potencial transformador da iniciativa.

Assim, o projeto não apenas atinge os objetivos propostos, como também abre novas possibilidades para o desenvolvimento de tecnologias assistivas centradas no

usuário, promovendo a inclusão social com responsabilidade, inovação e impacto sustentável.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da FACEPE – Fundação do Amparo à Ciência e Tecnologia do estado de Pernambuco, pelo processo nº SIN-0099-1.03/23.

## Referências

- Alabi, A. O. e Mutula, S. M. (2020). Digital inclusion for visually impaired students through assistive technologies in academic libraries, *Library Hi Tech News* 37(2): 14–17. <https://doi.org/10.1108/LHTN-11-2019-0081>.
- American Foundation for the Blind (AFB) (2023). Using technology. Disponível em <https://www.afb.org/blindness-and-low-vision/using-technology>.
- Amin, N., Saeed, A., Khalid, A., Usman, M. e Akram, F. (2025). Comparative study between jaws® and nvda® in academic performance of students with visual impairment, *British Journal of Visual Impairment* 43(2): 540–552. <https://doi.org/10.1177/02646196241255889>.
- Amore, F., Silvestri, V., Guidobaldi, M., Sulfaro, M., Piscopo, P., Turco, S., De Rossi, F., Rellini, E., Fortini, S., Rizzo, S. et al. (2023). Efficacy and patients' satisfaction with the orcam myeye device among visually impaired people: a multicenter study, *Journal of Medical Systems* 47(1): 11. <https://doi.org/10.1007/s10916-023-01908-5>.
- Ariza, J. Á. e Pearce, J. M. (2022). Low-cost assistive technologies for disabled people using open-source hardware and software: A systematic literature review, *IEEE Access* 10: 124894–124927. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3221449>.
- Barq, F. A. e Rehan, Q. (2025). Empowering visually impaired students: The role of assistive technology in english language learning, *Journal of Arts and Linguistics Studies* 3(1): 1647–1671. <https://doi.org/10.71281/jals.v3i1.293>.
- Barros, G., Correia, W. e Teixeira, J. M. (2023). Towards the effectiveness of 3d printing on tactile content creation for visually impaired users, *Polymers* 15(9): 2180. <https://doi.org/10.3390/polym15092180>.
- Baxter, M. (2021). *Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos*, Editora Blucher.
- Botelho, F. H. (2021). Accessibility to digital technology: Virtual barriers, real opportunities, *Assistive Technology* 33(sup1): 27–34. <https://doi.org/10.1080/10400435.2021.1945705>.
- Brasil (2004). Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004, regulamenta as leis nº 10.048, de 8 de novembro de 2000, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm).

- Brasil (2015). Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015: Institui a lei brasileira de inclusão da pessoa com deficiência e dá outras providências, Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jul. 2015. Disponível em [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm).
- Brilli, D. D., Georgaras, E., Tsilivaki, S., Melanitis, N. e Nikita, K. (2024). Airis: An ai-powered wearable assistive device for the visually impaired, *2024 10th IEEE RAS/EMBS International Conference for Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob)*, IEEE, pp. 1236–1241. <https://doi.org/10.1109/BioRob60516.2024.10719976>.
- Federação Brasileira de Hospitais (2025). 2.2 bilhões de pessoas convivem com alguma forma de deficiência visual, aponta oms. Disponível em <https://fbh.com.br/2-2-bilhoes-de-pessoas-convivem-com-alguma-forma-de-deficiencia-visual-aponta-oms/>.
- Hamideh Kerdar, S., Bächler, L. e Kirchoff, B. M. (2024). The accessibility of digital technologies for people with visual impairment and blindness: a scoping review, *Discover Computing* 27(1): 24. <https://doi.org/10.1007/s10791-024-09460-7>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021). Pns 2019: país tem 17,3 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31445-pns-2019-pais-tem-17-3-milhoes-de-pessoas-com-algum-tipo-de-deficiencia>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023). Pessoas com deficiência têm menor acesso à educação, ao trabalho e à renda. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37317-pessoas-com-deficiencia-tem-menor-acesso-a-educacao-ao-trabalho-e-a-renda>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2020). *Pesquisa Nacional de Saúde 2019: percepção do estado de saúde, estilos de vida, doenças crônicas e saúde bucal*, IBGE, Rio de Janeiro. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com-mediaibge/arquivos/f9789164454ff053a3acbeed1facbe52.pdf>.
- International Telecommunication Union (2023). Digital inclusion of all: Gaps and opportunities in assistive technology, *Technical report*, ITU, Geneva. Disponível em <https://www.itu.int/en/ITU-D/Digital-Inclusion/>.
- Kasowski, J., Johnson, B. A., Neydavood, R., Akkaraju, A. e Beyeler, M. (2023). A systematic review of extended reality (xr) for understanding and augmenting vision loss, *Journal of Vision* 23(5): 5–5. <https://doi.org/10.1167/jov.23.5.5>.
- Kumar, S., Shree DV, J. e Biswas, P. (2021). Comparing ten wcag tools for accessibility evaluation of websites, *Technology and Disability* 33(3): 163–185. <https://doi.org/10.3233/TAD-210329>.
- Liljeström, L., Bern, C. e Ferati, M. (2024). Voicing barriers: accessibility for visually impaired voiceover users on audio chat platforms, *Universal Access in the Information Society* pp. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10209-024-01096-0>.
- McCarthy, T., Pal, J. e Cutrell, E. (2013). The “voice” has it: screen reader adoption and switching behavior among visually impaired persons in india, *Assistive Technology* 25(4): 222–229. <https://doi.org/10.1080/10400435.2013.768719>.
- Naayini, P., Myakala, P. K., Bura, C., Jonnalagadda, A. K. e Kamatala, S. (2025). Ai-powered assistive technologies for visual impairment, *arXiv preprint arXiv:2503.15494*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.15494>.
- Oumard, C., Kreimeier, J. e Götzelmann, T. (2022a). Implementation and evaluation of a voice user interface with offline speech processing for people who are blind or visually impaired, *Proceedings of the 15th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, pp. 277–285. <https://doi.org/10.1145/3529190.3529197>.
- Oumard, C., Kreimeier, J. e Götzelmann, T. (2022b). Pardon? an overview of the current state and requirements of voice user interfaces for blind and visually impaired users, *International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, Springer, pp. 388–398. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-08648-9\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-031-08648-9_45).
- Rozenfeld, H. et al. (2006). Gestão de desenvolvimento de produtos: Uma referência para a melhoria do processo, edited by Saraiva, São Paulo, SP, Brazil.
- Soltani, I., Schofield, J., Madani, M., Kish, D. e Emami-Naeini, P. (2025). User-centered insights into assistive navigation technologies for individuals with visual impairment, *arXiv preprint arXiv:2504.06379*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.06379>.
- World Health Organization (2021). World report on vision, *Technical report*, World Health Organization, Geneva. Disponível em <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.
- World Health Organization (WHO) (2021). Assistive technology. Disponível em <https://www.who.int/news-room>.
- World Wide Web Consortium (W3C) (2018). Web content accessibility guidelines (wcag) 2.1. Disponível em <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>.
- Zen, E., Siedler, M., Costa, V. e Tavares, T. (2023). Assistive technology to help the interaction between visually impaired and computer systems: a systematic literature mapping, *ISys-Brazilian Journal of Information Systems* 16(1): 6. <https://doi.org/10.5753/isys.2023.2890>.