



Integrando Critérios de Acessibilidade Digital no Desenvolvimento de Artefatos de Software para Sistemas Educacionais Inclusivos

Natacsha Melo, ICOMP, UFAM,
natacsha@icomp.ufam.edu.br, <https://orcid.org/0000-0003-0391-5698>
Vitor Sousa, UFMA,
vitor.grs@discente.ufma.br, <https://orcid.org/0009-0003-8315-4995>
Sabryna Araujo, UFMA,
sabryna.ra@discente.ufma.br, <https://orcid.org/0009-0001-5460-1261>
Luis Rivero, PPGCC, UFMA,
luis.rivero@ufma.br, <https://orcid.org/0000-0001-6008-6537>
Alberto Castro, ICOMP, UFAM,
alberto@icomp.ufam.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-1752-8667>
Thais Castro, ICOMP, UFAM,
thais@icomp.ufam.edu.br, <https://orcid.org/0000-0001-6076-7674>

Resumo: Tecnologias digitais educacionais têm ampliado oportunidades de acesso e aprendizagem, mas pessoas com deficiência ainda enfrentam barreiras na sua utilização. A adoção de critérios de acessibilidade em sistemas educacionais promove experiências de aprendizagem mais autônomas, seguras e significativas, favorecendo sua plena participação e desenvolvimento cognitivo. Diante desse cenário, este trabalho propõe integrar diretrizes de acessibilidade no desenvolvimento de sistemas educacionais, incorporando princípios de interação multimodal para diversificar formas de acesso e uso. Esse processo de integração fundamentou-se na extração e consolidação de critérios de acessibilidade e na criação de personas contextualizadas que representam desafios reais em ambientes virtuais de aprendizagem. Como resultado, as recomendações foram aplicadas no sistema educacional nacional SIGAA, validando a abordagem e demonstrando seu potencial para ampliar a acessibilidade digital.

Palavras-chave: educação inclusiva, acessibilidade digital, tecnologias educacionais, interação multimodal.

Integrating Digital Accessibility Criteria into the Development of Software Artifacts for Inclusive Educational Systems

Abstract: Educational digital technologies have expanded access and learning opportunities, but people with disabilities still face barriers in their use. The adoption of accessibility criteria in educational systems promotes more autonomous, safe, and meaningful learning experiences, fostering full participation and cognitive development. In this context, this work proposes the integration of accessibility guidelines into the development of educational systems, incorporating principles of multimodal interaction to diversify forms of access and use. This integration process was based on the extraction and consolidation of accessibility criteria and the creation of contextualized personas that represent real challenges in virtual learning environments. As a result, the recommendations were applied to the national educational system SIGAA, validating the approach and demonstrating its potential to enhance digital accessibility.

Keywords: inclusive education, digital accessibility, educational technologies, multimodal interaction.

1. Introdução

As tecnologias educacionais ampliam o acesso ao conhecimento e transformam as práticas de ensino (Chadli; Gretete e Moumen, 2021; Navas-Bonilla *et al.*, 2025).



Contudo, esse potencial só se concretiza quando o design das soluções considera a diversidade dos usuários (Coleman e Berge, 2018). A Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Brasil, 2015) reforça o dever de garantir acessibilidade digital tornando essencial traduzir princípios de acessibilidade em práticas concretas.

Nesse sentido, foram desenvolvidos conjuntos de orientações e diretrizes para o desenvolvimento de soluções computacionais aplicáveis ao contexto educacional, como as diretrizes do W3C e da ABNT ((W3C), 2023; Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2025; Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2022). Complementarmente, recomendações específicas para ambientes mobile e multimodais também têm sido propostas (Google Developers, 2025; World Wide Web Consortium (W3C), 2003). Apesar da solidez dessas fontes, ainda existem desafios quanto à sua aplicação no contexto educacional, como: dificuldade conscientizar a equipe de desenvolvimento quanto à necessidade de incluí-las no design de soluções educacionais digitais; dificuldade em entender como se traduzem em requisitos de software; e dificuldade em exemplificar sua aplicação prática no desenvolvimento destes sistemas (Darin; Andrade e Sánchez, 2022).

Essa lacuna torna-se ainda mais evidente pela fragmentação das recomendações atuais, que frequentemente limitam-se a descrições genéricas sem demonstrar como integrá-las de forma operacional ao processo de desenvolvimento de sistemas multimodais. Observa-se, portanto, uma escassez de métodos sistemáticos que conectem as diretrizes normativas a artefatos concretos de software e que validem sua viabilidade em sistemas educacionais de larga escala.

Diante dessas lacunas, este artigo propõe integrar Critérios de Acessibilidade (CA) ao desenvolvimento de artefatos de software voltados a sistemas educacionais inclusivos, integrando recomendações técnicas e princípios de interação multimodal. Um Critério de Acessibilidade no contexto multimodal descreve uma característica que o software deve apresentar para garantir o uso por pessoas com diferentes tipos de deficiência em diferentes modalidades de interação — como visual, auditiva, tátil e textual (Xie *et al.*, 2025). O processo de criação dos artefatos baseou-se na extração e consolidação desses critérios e na construção de artefatos que os incluíssem. Posteriormente, os artefatos aprimorados a partir da inclusão dos critérios foram aplicados para sugerir melhorias no Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (SIGAA) utilizado em diversas instituições de ensino superior.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados; a Seção 3 descreve a metodologia adotada na análise dos critérios e produção dos artefatos; a Seção 4 expõe os resultados da aplicação prática no SIGAA; e a Seção 5 reúne as considerações finais e as perspectivas deste trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

As Diretrizes de Acessibilidade para o Conteúdo da Web (WCAG) ((W3C), 2023), as Diretrizes de Acessibilidade do Android (AAG) (Google Developers, 2025) e as normas NBR 17225 (Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2025) e NBR 17060 (Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2022) orientam o desenvolvimento de soluções acessíveis. Além destas, o documento de Requisitos de Interação Multimodal - MMI Requirements (World Wide Web Consortium (W3C), 2003) apresenta princípios para integrar e coordenar diferentes formas de interação (e.g fala, escrita, gestos e toques). Embora o *MMI Requirements* não tenha foco exclusivo em acessibilidade, ele oferece contribuições relevantes para o design inclusivo.

Considerando a necessidade de incluir estes critérios no processo de



desenvolvimento de sistemas educacionais digitais, pesquisas recentes têm explorado estratégias diversas para ampliar a acessibilidade no aprendizado digital. Santos et al. (2021) apresentam recomendações para Recursos Educacionais Abertos (REAs) voltadas a pessoas com deficiência visual, validadas com especialistas e usuários. O estudo se destaca pela sistematização de orientações aplicáveis ao contexto educacional, embora não aborde personalização por perfis funcionais. Soares et al. (2024) complementam essa discussão ao propor diretrizes pedagógicas e técnicas para estudantes cegos, articulando práticas inclusivas com requisitos técnicos, mas sem uma estrutura que facilite a adaptação a diferentes contextos. Expandindo o uso de artefatos de design inclusivo no ensino superior, Hostins et al. (2024) detalham a construção colaborativa de personas de estudantes universitários com Transtorno do Espectro Autista (TEA). O estudo demonstra como o mapeamento de motivações e frustrações reais, por meio da técnica PATHY, é fundamental para o desenvolvimento de tecnologias digitais que atendam efetivamente à inclusão psicossocial e acadêmica. Em conjunto, esses trabalhos reforçam a necessidade de cenários aplicáveis que tornem tangíveis as práticas de acessibilidade e personalização em ambientes educacionais.

A interação multimodal também tem sido investigada como meio de diversificar experiências de aprendizagem e ampliar o engajamento de estudantes com deficiência. Xie et al. (2025) analisam o uso de modos combinados de interação, como voz, toque e imagem, em ambientes de ensino remoto, destacando benefícios e desafios de adequação aos perfis funcionais dos usuários. De modo semelhante, Jacaúna, Müller e Menezes (2022) realizaram uma revisão sistemática sobre laboratórios virtuais para estudantes com deficiência visual no ensino de Ciências, evidenciando a escassez de pesquisas que conectem acessibilidade digital, práticas pedagógicas e tecnologias educacionais.

Apesar dos avanços identificados, observa-se que as pesquisas atuais ainda carecem de métodos sistemáticos que operacionalizem diretrizes de acessibilidade em artefatos concretos de software, especialmente em sistemas educacionais multimodais. Em geral, as abordagens permanecem fragmentadas, limitando-se à descrição de recomendações ou diretrizes genéricas, sem demonstrar como integrá-las efetivamente ao processo de desenvolvimento. Além disso, há escassez de exemplos aplicados que validem a viabilidade dessas práticas em sistemas amplamente utilizados no contexto acadêmico. Nesse sentido, na seção a seguir, apresenta-se o processo estruturado de extração, consolidação e aplicação de Critérios de Acessibilidade na geração de artefatos que permitam aproximar as recomendações teóricas da prática de desenvolvimento inclusivo.

3. Identificação de Critérios de Acessibilidade Aplicáveis a Sistemas Educacionais

A metodologia foi estruturada em três fases. A primeira, Extração e Consolidação de Critérios de Acessibilidade, estabeleceu a base técnica do trabalho através da consolidação de critérios de acessibilidade disponíveis nas diretrizes normativas. A segunda fase, Identificação de Oportunidades de Melhoria em Artefatos de Empatia, serviu para identificar lacunas em artefatos reais e justificar a necessidade de novos artefatos. Por fim, a terceira fase, Refinamento Contextualizado e Aplicação de Personas, utilizou os insights da fase anterior para construir e aplicar um novo conjunto de artefatos, ilustrando os desafios de acessibilidade de forma prática e fundamentada.

Após a sistematização dos critérios, as recomendações derivadas da construção das personas foram aplicadas em um Ambiente Virtual de Aprendizagem real - SIGAA, a fim de verificar sua aderência prática e sua contribuição para a construção de ambientes digitais mais acessíveis.



3.1. Extração e Consolidação de Critérios de Acessibilidade

Foram utilizadas as Diretrizes de Acessibilidade citadas e discutidas na Seção 2, incluindo recomendações do W3C, da ABNT e diretrizes específicas para plataformas mobile e multimodais ((W3C), 2023; Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2025; Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2022; Google Developers, 2025; World Wide Web Consortium (W3C), 2003). Estudos como o de (Arief; Rissanen e Saranto, 2020) e o relatório WebAIM Million (2025) reforçam que a WCAG permanece como referência central na avaliação de acessibilidade. No contexto brasileiro, as normas da ABNT consolidam essas diretrizes internacionais, traduzindo-as para aplicações web e móveis, enquanto a AAG, mantida pela Google, complementa o conjunto com parâmetros específicos para o ambiente mobile.

Identificaram-se 476 itens brutos: 154 da NBR 17225, 148 do MMI Requirements, 87 da WCAG 2.2, 54 da NBR 17060 e 33 da AAG. Para reduzir esse volume e eliminar redundâncias entre as fontes, aplicou-se um processo de consolidação baseado em três regras principais: (i) Agrupamento por Similaridade Funcional, reunindo itens que tratam do mesmo objetivo; (ii) Fusão por Complementaridade, integrando regras gerais a especificações técnicas detalhadas; e (iii) Padronização Semântica, uniformizando a linguagem técnica para converter as diretrizes em requisitos de software claros.

Como exemplo prático dessa consolidação, para o critério **CA05**, que trata da audiodescrição para vídeos, a análise das diretrizes revelou como diferentes padrões abordam o mesmo requisito com níveis variados de detalhe. A WCAG 2.2 estabelece a base, afirmando que "É fornecida audiodescrição para todo o conteúdo de vídeo pré-gravado". A NBR 17225, detalha a "audiodescrição estendida" e exceções (quando o áudio original basta). A partir da fusão dessas perspectivas, o requisito fundamental da WCAG 2.2 com as soluções técnicas e exceções das NBRs, foi consolidado o critério final: "Vídeos pré-gravados devem oferecer audiodescrição do conteúdo visual."

A consolidação semântica eliminou redundâncias originando um conjunto final de 88 critérios de acessibilidade. Os critérios consolidados foram então categorizados para indicar os ambientes de aplicação (web, mobile ou ambos), os padrões de origem e os tipos de deficiência aos quais se relacionam. A **Tabela 1** apresenta 15 critérios dos 88 consolidados, ilustrando a sistematização das informações e permitindo a identificação imediata de seus contextos. A relação completa dos critérios pode ser consultada na planilha online no rodapé.*

3.2. Identificando Oportunidades de Melhoria em Artefatos para Geração de Empatia em Processos de Desenvolvimento de Software

Visando apoiar a criação de artefatos que conectassem os critérios de acessibilidade às necessidades reais dos usuários, analisaram-se artefatos utilizados em projetos anteriores para a identificação de oportunidades de melhoria. A seleção do conjunto de cinco personas preexistentes (João Rodrigues, Gustavo Soares, Lidiane Costa, Marcia Oliveira e Bruno Menezes) baseou-se no critério de diversidade funcional e representatividade de perfis de interação multimodal, essas personas foram desenvolvidas em um estudo anterior sobre hábitos digitais em aplicações web multimodais (Melo, 2024). Estes perfis foram escolhidos por cobrirem as principais categorias de deficiência (visual, motora e cognitiva) e por possuírem cenários de uso previamente documentados em aplicações web, o que oferecia uma base comparativa sólida para a transposição ao contexto de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs).

Essas personas, que combinam um perfil narrativo com cenários de uso, serviram

*Clique aqui para a planilha completa



Tabela 1. Mapeamento Consolidado entre Especificações de Acessibilidade de Diretrizes Normativas, Plataformas e Tipos de Deficiência.

Cod	Critérios de Acessibilidade	Padrões e Diretrizes						Plataformas		Tipos de Deficiência			
		WCAG 2.2	W3C MMI	NBR 17225	NBR 17060	AAG	Mobile	Web		Auditiva	Cognitiva	Motora	Visual
CA01	Elementos visuais devem ter texto alternativo que descreve conteúdo ou ação.	X		X	X	X	X	X					X
CA02	Informações, estrutura e relacionamentos devem ser determinados programaticamente.	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X
CA05	Vídeos pré-gravados devem oferecer audiodescrição do conteúdo visual.	X		X		X	X	X	X				X
CA10	Texto deve poder ser ampliado até 200% sem perda de conteúdo ou funcionalidade (sem bloquear zoom).	X		X	X	X	X	X				X	X
CA17	Vídeos com áudio devem oferecer legendas sincronizadas.	X		X	X	X	X	X	X	X			
CA24	Ordem de leitura lógica e determinável programaticamente.	X	X	X	X	X	X	X		X			X
CA28	Texto e imagens de texto devem ter contraste suficiente com o plano de fundo adjacente.	X		X	X	X	X	X		X			X
CA38	Toda funcionalidade deve ser operável por teclado (sem exigir tempo preciso).	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X
CA52	A ordem de navegação por foco deve ser lógica, sequencial e preservar o significado e a operacionalidade da interface.	X	X	X	X	X	X	X				X	X
CA55	Cabeçalhos e rótulos devem ser utilizados para descrever e organizar o conteúdo, seguindo uma estrutura lógica e hierárquica.	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
CA77	Componentes com a mesma funcionalidade que aparecem em múltiplas páginas ou em diferentes locais da mesma página devem ser identificados de forma consistente.	X		X	X		X	X		X	X	X	X
CA80	Quando um erro de entrada de dados é detectado, ele deve ser identificado em texto, descrevendo claramente qual é o problema e qual campo o contém.	X		X	X		X	X		X	X	X	X
CA81	Campos que exigem entrada de dados do usuário devem possuir rótulos, instruções claras e identificação de requisitos (como campos obrigatórios), posicionados de forma previsível.	X		X	X		X	X	X	X			X
CA83	Para ações com consequências sérias (financeiras, legais, exclusão de dados), deve haver um mecanismo para reverter, verificar ou confirmar os dados antes da submissão final.	X					X	X		X			
CA88	Mensagens de status e feedbacks de ações devem ser comunicados programaticamente de forma que possam ser percebidos por tecnologias assistivas sem roubar o foco do usuário.	X		X	X		X	X	X				X

como base inicial para avaliar a adequação de tais artefatos no contexto específico de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) e identificar requisitos para a criação de representações mais eficazes. Como exemplo, temos a persona do Gustavo Soares que é um deficiente visual, sua persona é apresentada a seguir e ilustrado na Figura 1.

Persona: Gustavo Soares
Papel: Supervisor de Almoxarifado

"Estar conectado é o diferencial competitivo para a experiência do cliente"

Gustavo Soares, de 30 anos, possui cegueira total, de nascença, trabalhou durante muitos anos recebendo, conferindo e despachando requisições de materiais em um almoxarifado. Atualmente, trabalha em uma rede de supermercados, supervisionando diretamente auxiliares de almoxarifado. Ele possui o primeiro grau completo e fez um curso de Almoxarifado. Possui também capacidade de organização e noções básica no uso de computadores. Sempre que precisa utilizar algum aplicativo ou software o faz por meio de leitores de tela. Seja no computador ou no smartphone. Quando tem alguma dúvida, ele faz uma busca na Internet por informações que lhe ajudem a resolver os seus problemas.

Usuário "antenado", Gustavo prefere utilizar o assistente de voz do seu smartphone como apoio as suas atividades diárias, pois acredita que assim seja mais eficiente. É por meio de aplicativos de mensagens instantâneas que costuma se manter conectado diariamente com seus superiores e subordinados. Dessa forma costuma dar feedback para seus superiores diariamente sobre as atividades que estão em andamento.

Toda sexta-feira precisa enviar para o sistema da empresa os lançamentos da movimentação de entrada e saída dos materiais, para alimentar o controle de estoque da empresa. Precisa verificar diariamente o status dos pedidos dos fornecedores que fica disponível em um sistema do supermercado e possui diversos recursos para que o contato entre a empresa e fornecedor seja realizado (e.g., chat para sanar dúvidas com o fornecedor; histórico de revisão do pedido).

Seu maior objetivo é ter seus pedidos em conformidade com os fornecedores com a maior eficiência possível. Para isso, é importante ele poder acessar o sistema onde quer que esteja, no horário que for, para realizar qualquer tarefa remotamente e ficar informado da atualização do status de compras de produtos.

Figura 1. Persona Gustavo Soares

Para validação, aplicou-se um questionário a nove respondentes (especialistas e usuários), amostra suficiente para análises qualitativas de saturação. A abordagem integrou métricas quantitativas e seis critérios qualitativos investigados por questões diretas (clareza, detalhamento, realismo, produtividade, esforço e recomendação).

A análise quantitativa indicou aceitação positiva quanto ao realismo e detalhamento. O ranking das personas (Média $\bar{x}$, Mediana $\tilde{x}$, Desvio Padrão s) foi liderado por **1º João Rodrigues** ($\bar{x} = 4.35, \tilde{x} = 5.0, s = 0.86$) e **2º Gustavo Soares** ($\bar{x} = 4.24, \tilde{x} = 4.0, s = 0.83$), seguidos por **3º Lidiane Costa** ($\bar{x} = 4.07, \tilde{x} = 5.0, s = 1.19$), **4º Marcia Oliveira** ($\bar{x} = 3.89, \tilde{x} = 4.0, s = 0.81$) e **5º Bruno Menezes**



($\bar{x} = 3.74$, $\tilde{x} = 4.0$, $s = 0.90$).

Apesar da avaliação quantitativa favorável, a análise qualitativa foi determinante ao revelar a necessidade de aprimoramentos para o contexto de AVAs. As principais oportunidades de melhoria identificadas foram: **(i) Maior Detalhamento de Tecnologias Assistivas:** ir além da menção genérica, detalhando softwares e estratégias de uso; **(ii) Contextualização Explícita em Cenários de AVA:** situar desafios em tarefas reais (ex: realizar prova online) em vez de dificuldades genéricas da web; **(iii) Conexão com Critérios Técnicos:** vincular barreiras explicitamente aos 88 critérios consolidados para priorização de requisitos; e **(iv) Aprofundamento dos Objetivos:** refletir metas de aprendizagem específicas. Esses feedbacks informaram diretamente o desenvolvimento das personas finais (visuais, auditivas, motoras e cognitivas) apresentadas a seguir.

3.3. Refinamento Contextualizado das Personas e Conexão com critérios de Acessibilidade

Com base nas oportunidades de melhoria gerais identificadas na validação de personas preexistentes indicou a necessidade de artefatos mais detalhados, contextualizados em AVAs e explicitamente conectados aos critérios de acessibilidade. Para atender a esses requisitos, esta seção detalha o processo de desenvolvimento da persona Camila, representativa do perfil funcional de baixa visão severa. O processo adotado seguiu três etapas principais: (1) geração de um perfil base inicial assistida por IA, (2) refinamento humano guiado por validação e critérios, e (3) contextualização em cenário de uso específico do AVA.

Etapas 1: Geração do Perfil Base com IA. Para agilizar a criação inicial de um perfil narrativo focado em empatia, utilizou-se uma ferramenta de IA generativa (ChatGPT-4). Essa abordagem alinha-se a práticas emergentes na área de Interação Humano-Computador, que exploram o potencial de Modelos de Linguagem Amplos (LLMs) para acelerar a prototipagem de personas. Embora eficiente para prototipagem inicial, o uso de IA exige validação humana rigorosa para mitigar vieses e garantir representatividade ética. (Sattele e Ortiz, 2024) O prompt utilizado foi simplificado intencionalmente para focar nas características essenciais:

"Cria uma descrição de uma persona (apenas o perfil narrativo inicial...) com baixa visão severa, necessitando de ampliação de fontes e alto contraste."

O texto resultante forneceu a estrutura narrativa inicial para Camila, descrevendo sua condição, idade aproximada, contexto educacional genérico e desafios gerais como a fadiga visual e a quebra de layout com zoom.

Etapas 2: Refinamento Humano e Fundamentação. Esta etapa foi crucial para transformar o rascunho inicial em uma representação robusta e fundamentada. Guiados pelos *insights* qualitativos da validação, como a necessidade de detalhar tecnologias assistivas, contextualizar desafios no AVA e aprofundar objetivos e pela necessidade de conectar a persona aos 88 Critérios de Acessibilidade, os autores revisaram e enriqueceram a descrição base. Especificamente:

- Detalharam-se as tecnologias assistivas (ZoomText, Lupa nativa, navegação via teclado) e as estratégias de uso combinadas (ex: teclado como alternativa ao mouse com alto zoom), incorporando os critérios **CA10, CA28, CA38, CA52**.
- Contextualizaram-se os desafios (layout quebrado, cores, ícones, vídeos, formulários) com exemplos mais concretos relacionados a um AVA e aos critérios **CA01, CA05, CA14, CA81**.
- Aprofundaram-se os objetivos educacionais no contexto do curso de Análise e



Desenvolvimento de Sistemas.

- A fundamentação para essas adições veio da literatura e da análise detalhada dos 88 critérios.

O perfil refinado resultante desta etapa, focado nas características, necessidades e objetivos de Camila, é apresentado a seguir e ilustrado na Figura 2.

Persona: Camila

Camila tem 20 anos e é uma aluna dedicada do segundo ano de Análise e Desenvolvimento de Sistemas no Brasil. Sua personalidade analítica e persistente foi moldada tanto pelo interesse na área de TI quanto pela necessidade diária de navegar no mundo digital com baixa visão severa. Embora não seja cega, percebendo luz e formas, sua acuidade visual exige o uso constante de tecnologias assistivas e estratégias de adaptação. Para ler textos digitais, ela depende de softwares ampliadores de tela (como ZoomText ou a Lupa nativa do sistema operacional) configurados para aumentar o conteúdo em pelo menos 300% (AT10), combinados com modos de alto contraste (AT28), geralmente texto claro sobre fundo escuro. Quando a ampliação excessiva torna o uso do mouse impreciso, Camila frequentemente recorre à navegação via teclado (AT38), o que, por sua vez, depende criticamente de uma ordem de foco lógica e sequencial (AT52) e de indicadores de foco visualmente distintos.

Seu histórico acadêmico é uma prova de sua resiliência e competência tecnológica, mas também de uma luta constante contra barreiras de acessibilidade em plataformas educacionais, como o portal do aluno e os Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA). O principal desafio reportado, a fadiga visual extrema, transforma sessões de estudo rotineiras em tarefas exaustivas devido ao foco intenso necessário para decifrar elementos na tela ampliada. A frustração é agravada por interfaces de AVAs que não são responsivas: layouts que "quebram" com o zoom (AT10), exigindo rolagem horizontal excessiva; informações cruciais comunicadas apenas por cores (AT14), que se perdem com o alto contraste; ícones ou botões pequenos sem rótulos textuais claros (AT01, AT81) e com baixo contraste (AT28); vídeos sem audiodescrição (AT05); formulários complexos não navegáveis (AT81); e uma ordem de navegação inconsistente (AT52). Esses problemas, alinhados às oportunidades de melhoria gerais identificadas na Seção 3.2, transformam tarefas simples em obstáculos demorados e irritantes. O objetivo educacional de Camila, que precisava ser aprofundado, é concluir seu curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas com autonomia, focando no aprendizado de lógica, programação e banco de dados, em vez de desperdiçar energia excessiva lutando contra interfaces inacessíveis, buscando igualdade de condições com seus colegas.

Figura 2. Representação visual e resumo do perfil da persona Camila (Refinada).

Etapa 3: Contextualização em Cenário de Uso com Requisitos Funcionais.

Para conectar o perfil refinado de Camila a uma interação realista com o sistema alvo (SIGAA) e identificar pontos de falha específicos, foi gerado um cenário de uso contextualizado. Crucialmente, esta etapa utilizou não apenas o perfil da persona, mas também os requisitos funcionais essenciais do SIGAA para a tarefa de acessar o conteúdo de uma disciplina: **(RF01)** Realizar login no sistema (informar usuário e senha, clicar em 'Entrar'); **(RF02)** Acessar o portal do discente após o login; **(RF03)** Selecionar a disciplina desejada (ex: 'Banco de Dados') a partir da lista de matriculadas; **(RF04)** Visualizar a página principal da disciplina, contendo avisos, materiais e fóruns; e **(RF05)** Localizar e clicar no link para download de um material específico. A inclusão desses requisitos permitiu direcionar a geração do cenário para simular a interação real e destacar as barreiras de acessibilidade naquele fluxo específico.

Utilizou-se novamente a ferramenta de IA generativa, fornecendo um prompt detalhado que combinava o perfil refinado de Camila e os requisitos funcionais listados:

"Com base na persona Camila (descrição refinada...) e nos passos funcionais do SIGAA (RF01 a RF05 listados acima), crie um cenário de uso detalhado... Foque nas dificuldades com baixa visão (zoom, contraste, teclado) ao executar esses passos e como a interface falha em atender critérios como CA10, CA28, CA01, CA05, CA52, CA38, CA81, CA14..."

O cenário gerado pela IA foi então revisado e ajustado pelos autores para garantir a precisão técnica em relação ao SIGAA, a clareza narrativa da experiência de Camila e a conexão explícita e correta entre as barreiras descritas e os critérios de acessibilidade mais relevantes. O cenário final resultante é apresentado na Figura 3.

Este processo metodológico detalhado para a persona Camila – combinando geração assistida por IA, refinamento humano intensivo guiado por validação prévia e critérios técnicos, e contextualização em cenários realistas com requisitos funcionais – demonstra uma abordagem estruturada para criar artefatos de design (personas e cenários) ricos, fundamentados e diretamente aplicáveis. Esses artefatos servem como ferramentas práticas para a análise de interfaces e o direcionamento de soluções acessíveis, como explorado na seção a seguir.



Cenário de Uso - Camila no SIGAA

Camila inicia sua sessão de estudos acessando o SIGAA para verificar os materiais da disciplina "Banco de Dados". Ela ativa seu software de ampliação (AT10) para 300% e o modo de alto contraste (AT28). Na tela de login (RF01), os campos de usuário e senha são identificáveis, mas a aplicação do zoom faz com que precise rolar horizontalmente para visualizar ambos e o botão "Entrar". Após o login, ela acessa o portal do discente (RF02) e localiza o menu de disciplinas. A navegação pelo menu usando o teclado (AT38) é possível, mas a ordem de foco (AT52) não é imediatamente clara, e o indicador de foco é pouco visível, exigindo atenção extra. Ao selecionar a disciplina "Banco de Dados" (RF03) e acessar sua página principal (RF04), a complexidade aumenta. O layout da página não se reajusta bem ao zoom (AT10), fazendo com que blocos de conteúdo (avisos, fórum, aulas) se sobreponham ou exijam rolagem excessiva em ambas as direções. Um diagrama importante sobre Modelo Relacional é apresentado como imagem sem descrição alternativa (AT01), impossibilitando sua compreensão. Um vídeo introdutório não possui opção de audiodescrição (AT05). Para encontrar o link de download do PDF da primeira aula (RF05), Camila precisa navegar por vários links e ícones usando a tecla Tab (AT38). A falta de cabeçalhos claros na seção de materiais (AT55) e a ordem de foco imprevisível (AT52) tornam a tarefa demorada. Ela finalmente localiza um ícone genérico de download, sem texto associado (AT81), e precisa adivinhar se é o arquivo correto. A sessão, que deveria ser rápida, consumiu tempo e gerou considerável fadiga visual, ilustrando como as barreiras de acessibilidade impactam diretamente sua experiência de aprendizagem.

Figura 3. Ilustração do cenário de uso de Camila no SIGAA, destacando barreiras visuais (zoom, contraste, layout) e de navegação (foco, ordem).

4. Aplicação Prática: Análise e Melhoria do SIGAA com Base na Persona

Com a persona Camila contextualizada e os critérios de acessibilidade consolidados, esta seção demonstra a aplicação prática da metodologia. O objetivo é ilustrar como esses artefatos guiaram a análise de interfaces do Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) SIGAA e o subsequente processo de redesenho focado na acessibilidade. Apresenta-se um redesenho da tela de conteúdo direcionado pelas necessidades específicas da persona Camila (baixa visão) e um redesenho da tela de mensagens visando uma acessibilidade mais abrangente aos perfis de usuários e multimodal.

4.1. Caso de Aplicação 1: Redesenho da Tela de Conteúdo Orientado pela Persona Camila (Baixa Visão)

A tela de visualização de conteúdo é um ponto central de interação no AVA. O cenário de uso da persona Camila, detalhando sua interação com o SIGAA, revelou múltiplas barreiras, especialmente na página principal da disciplina (correspondente ao RF04). Embora o cenário mencione dificuldades em outras telas (como login), a análise focou nesta página (Figura 4-A) devido à concentração de desafios críticos para usuários com baixa visão severa, como a quebra de layout com zoom (**CA10**), baixo contraste (**CA28**), mídia inacessível (**CA01**, **CA05**) e navegação ineficiente (**CA52**, **CA38**).

Com base nesses problemas específicos, a interface foi redesenhada (Figura 4-B), implementando um conjunto de melhorias diretamente inspiradas nas necessidades de Camila e nos critérios de acessibilidade violados. As principais funcionalidades adicionadas ou modificadas incluem:

- **Barra de Acessibilidade:** Inclusão de controles para Leitura de Texto (Text-to-Speech, relacionado a **CA88**), Ditar (Controle por Voz, **CA38**) e ajustes de Aparência (Tamanho da Fonte **CA10**, Alto Contraste **CA28**).
- **Acessibilidade de Mídia:** Adição de Legendas (**CA17**), link explícito para Audiodescrição (**CA05**) e etiquetas sonoras descritivas para materiais (**CA88**, **CA01**).
- **Ferramentas Cognitivas e de Navegação:** Implementação de um recurso assistido para gerar Mapas Mentais a partir do conteúdo (**CA01**, **CA24**), um ícone claro para Download de Material (**CA81**) e um Assistente Virtual (Chatbot) para ajuda contextual (**CA81**).
- **Melhorias Estruturais (Implícitas):** O redesenho considera implicitamente uma melhor estrutura semântica (**CA55**) e ordem de foco (**CA52**) para suportar a navegação e as ferramentas assistivas.

A Tabela 2 resume essas melhorias, os critérios aplicados e os benefícios diretos, principalmente para o perfil de baixa visão, mas também com ganhos secundários para



outros perfis.

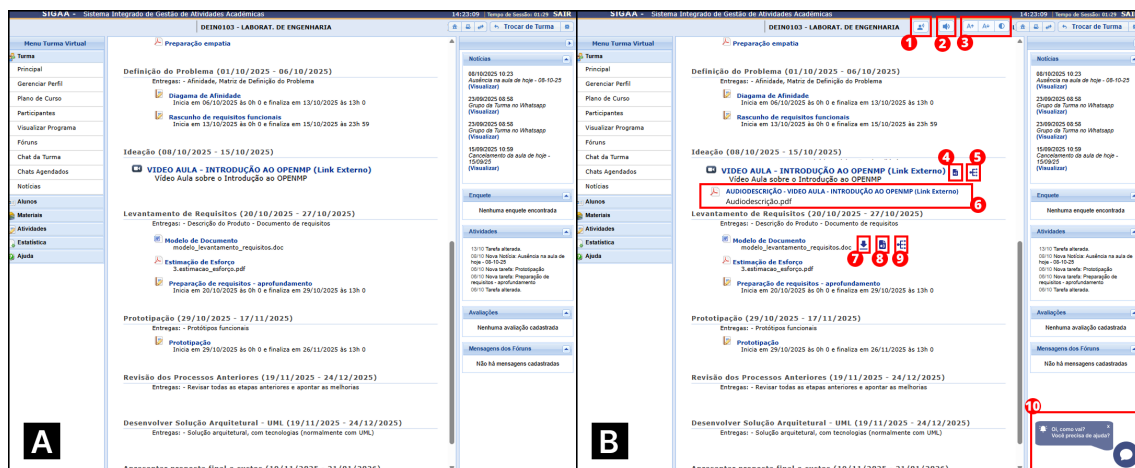


Figura 4. Tela de Visualização de Conteúdo: (A) Versão original do SIGAA. (B) Versão redesenhada com barra de acessibilidade, mídia acessível e ferramentas de suporte, focada nas necessidades de Camila (baixa visão).

Tabela 2. Melhorias Implementadas na Tela de Conteúdo e Critérios Relacionados

Melhoria Implementada	Critérios Aplicados	Benefício (Foco: Baixa Visão / Visual, Cognitiva)
Leitura de Texto (TTS)	CA88	Facilita acesso ao conteúdo para baixa visão, cegueira e dislexia.
Controle por Voz (Ditar)	CA38	Permite navegação/interação para deficiência motora.
Controles Fonte/Contraste	CA10, CA28	Essencial para baixa visão; melhora legibilidade geral.
Legendas e Audiodescrição	CA17, CA05	Torna vídeos acessíveis para deficiência auditiva (legendas) e visual (audiodescrição).
Etiqueta Sonora para Materiais	CA88, CA01	Fornece informação auditiva sobre links/arquivos para deficiência visual.
Geração de Mapa Mental	CA01, CA24	Oferece estrutura visual alternativa, crucial para deficiência cognitiva (TDAH, dislexia).
Ícone Claro para Download	CA81	Reduz ambiguidade, beneficia deficiência cognitiva e todos os usuários.
Assistente Virtual	CA81	Fornece ajuda contextual, reduzindo carga cognitiva e ansiedade.

4.2. Caso de Aplicação 2: Redesenho Considerando Mais Perfis de Usuário e Contexto Multimodal da Tela de Envio de Mensagens

A funcionalidade de envio de mensagens (Figura 5-A) foi analisada buscando-se não apenas corrigir as falhas básicas que violavam critérios essenciais (CA81, CA52, CA38, CA80, CA88, CA83), mas também incorporar um conjunto abrangente de recursos para promover uma comunicação verdadeiramente inclusiva e multimodal no AVA. A interface redesenhada (Figura 5-B), detalhada na Tabela 3, implementa as seguintes melhorias, visando atender a usuários com deficiências visuais, auditivas, motoras e cognitivas:

- **Barra de Acessibilidade Multimodal:** Inclui opções para Leitura de Texto (CA88), Entrada por Voz (CA38), Controles de Aparência (CA10, CA28) e um indicativo de Suporte a LIBRAS (CA01, CA17).
- **Formulário Acessível e Claro:** Garante Rótulos e Instruções claras (CA81), Navegação por Teclado lógica com Foco Visível (CA38, CA52), mecanismos de Identificação de Erros e Confirmação (CA80, CA83), e Feedback de Status acessível (CA88). Ajuda contextual (CA81) foi adicionada aos campos principais.



- **Opções de Anexo Multimodal:** Permite anexar não apenas arquivos, mas também Gravações de Áudio, Gravações de Vídeo (facilitando a comunicação em LIBRAS, CA01, CA17) e potencialmente outras mídias.
- **Suporte Adicional:** Inclui um Assistente Virtual (Chatbot) para oferecer ajuda durante o processo de envio da mensagem (CA81).
- **Robustez (Implícita):** A codificação subjacente (não visível) foi pensada para garantir compatibilidade com diversas tecnologias assistivas (CA78).

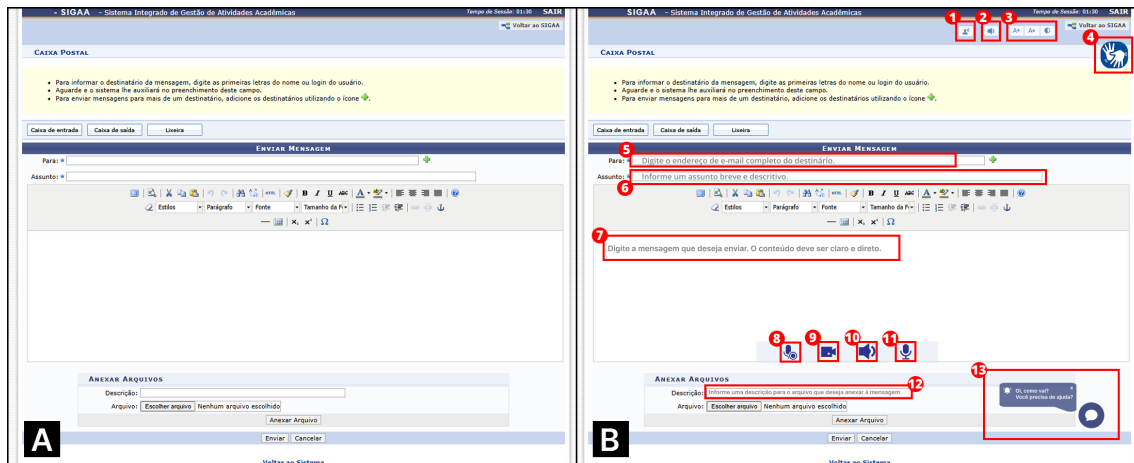


Figura 5. Tela de Envio de Mensagens: (A) Versão original. (B) Versão redesenhada com barra de acessibilidade multimodal, formulário aprimorado e opções de anexo diversas.

Tabela 3. Melhorias Abrangentes e Multimodais na Tela de Envio de Mensagens

Melhoria Implementada	Crítérios Aplicados	Benefícios para Diversos Perfis Funcionais
Barra de Acessibilidade	CA88, CA38, CA10, CA28, CA01, CA17	Oferece múltiplas formas de interagir e perceber a interface (Visual, Auditiva, Motora, Cognitiva).
Formulário Acessível	CA81, CA52, CA38, CA80, CA83, CA88, CA55, CA64	Garante a usabilidade básica para todos, especialmente usuários de TA (Visual, Motora) e com necessidades cognitivas.
Anexos Multimodais	CA01, CA17	Permite comunicação alternativa ao texto (Auditiva, Cognitiva, Motora).
Assistente Virtual	CA81	Fornecer suporte contextual, reduzindo ansiedade e carga cognitiva (Cognitiva).
Compatibilidade com TAs	CA78	Garante funcionamento com leitores de tela, teclados adaptados, etc. (Visual, Motora).

4.3. Discussão: Potencial Transformador da Aplicação Integrada

A análise dos casos redesenhados com base na metodologia proposta evidencia o potencial da integração entre personas contextualizadas e critérios de acessibilidade para transformar interfaces de AVAs como o SIGAA. Essa combinação permite alinhar aspectos técnicos e humanos, ampliando o alcance inclusivo das soluções e tornando o design mais sensível às necessidades reais dos usuários.

O redesenho da tela de conteúdo, guiado pela persona Camila (baixa visão), resultou em soluções de alto impacto, como controles visuais aprimorados, audiodescrição e mapas mentais. Esses elementos demonstram que a empatia no processo de design gera inovações que ultrapassam a mera conformidade, beneficiando também outros perfis funcionais e aprimorando a experiência geral de aprendizagem.



O uso de IA Generativa para agilizar a criação de artefatos impõe riscos éticos, como a reprodução de vieses e estereótipos. Para mitigar esses riscos, adotou-se a IA estritamente como ferramenta de suporte à redação, condicionada à validação humana por especialistas e usuários. Essa abordagem assegura que a automação sistematize, mas não substitua, a escuta ativa das necessidades reais, evitando representações caricatas.

Já o redesenho da tela de envio de mensagens ilustra como a aplicação sistemática de critérios abrangentes e multimodalidade pode tornar as interfaces mais robustas. Ao oferecer múltiplas formas de entrada e saída, a abordagem proposta consolida um caminho para ambientes virtuais verdadeiramente inclusivos e equitativos.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho demonstrou que integrar critérios técnicos consolidados (WCAG, ABNT NBRs, MMI Requirements e AAG) a personas contextualizadas supera abordagens genéricas em AVAs. A validação prática no SIGAA evidenciou que direcionar soluções por perfis reais resulta em maior previsibilidade e autonomia de navegação.

O diferencial do trabalho reside no enriquecimento dos critérios, mapeando-os a padrões, plataformas e deficiências, o que compõe um framework analítico mais abrangente que fontes isoladas. Essa abordagem aproxima práticas pedagógicas de requisitos técnicos, reforçando a acessibilidade como elemento estrutural do design educacional, enquanto a organização das recomendações por tela e perfis reais ampliou sua aplicabilidade.

Contudo, a generalização para outros AVAs deve considerar barreiras como a heterogeneidade de arquiteturas e limitações de sistemas legados, que dificultam a implementação nativa de recursos multimodais. Além disso, a eficácia das soluções depende da maturidade das equipes em traduzir requisitos de acessibilidade em código robusto e compatível com tecnologias assistivas.

Como trabalhos futuros, prevê-se um framework de recomendações multimodais que utilize os critérios e personas deste estudo para sugerir recursos personalizados, promovendo experiências centradas no usuário. Além do aprimoramento técnico das interfaces, pretende-se investigar de forma mais aprofundada os impactos pedagógicos decorrentes da aplicação desses critérios, considerando aspectos como engajamento, autonomia, participação acadêmica e compreensão dos conteúdos. Por fim, prevê-se a continuidade da avaliação do impacto da inclusão desses critérios tanto sob a perspectiva dos usuários com deficiência quanto em relação aos processos de ensino e aprendizagem, contribuindo para a consolidação de práticas de design educacional acessível e efetivamente inclusivo.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) por meio do Programa POSGRAD 2025/2026, bem como da Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

Arief, M.; Rissanen, S.; Saranto, K. Effectiveness of web accessibility policy implementation in online healthcare information. In: **MIE**. [S.l.: s.n.], 2020. p.



1108–1112.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 170060: Acessibilidade em aplicativos de dispositivos móveis - Requisitos**. 2022. Acesso em: 21 jun. 2025. Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/mpf/norma.aspx?ID=516652>.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 17225: Acessibilidade em conteúdo e aplicações web — Requisitos**. 2025. Acesso em: 21 jun. 2025. Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/mpf/norma.aspx?ID=567818>.

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)**. 2015. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jul. 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 21 jun. 2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm.

Chadli, F. E.; Gretete, D.; Moumen, A. Digital accessibility: a systematic literature review. In: EDP Sciences. **SHS Web of Conferences**. [S.l.], 2021. v. 119, p. 06005.

Coleman, M.; Berge, Z. A review of accessibility in online higher education. **Online Journal of Distance Learning Administration**, v. 21, n. 1, p. 1–7, 2018.

Darin, T.; Andrade, R.; Sánchez, J. Usability evaluation of multimodal interactive virtual environments for learners who are blind: An empirical investigation. **International Journal of Human-Computer Studies**, Elsevier, v. 158, p. 102732, 2022.

Google Developers. **Android Accessibility Overview**. 2025. <https://developer.android.com/guide/topics/ui/accessibility>. Acesso em: 21 jun. 2025.

Hostins, R. C.; Alves, A. G.; Oliveira, N. A. de. Construindo personas de estudantes universitários com tea no desenvolvimento colaborativo de tecnologia digital. **Revista Educação Especial**, p. e59–1, 2024.

Melo, N. **Personas sobre hábitos digitais em contexto web de aplicações multimodais**. 2024. Acesso em: 26 dez. 2025. Disponível em: <https://sites.google.com/view/modelo-recomendacao-multimodal/personas-sobre-h%C3%A1bitos-digitais-em-contexto-web-de-aplica%C3%A7%C3%B5es-multimodais>.

Navas-Bonilla, C. D. R.; Guerra-Arango, J. A.; Oviedo-Guado, D. A.; Murillo-Noriega, D. E. Inclusive education through technology: a systematic review of types, tools and characteristics. In: Frontiers Media SA. **Frontiers in Education**. [S.l.], 2025. v. 10, p. 1527851.

Santos, W. D. dos; Sestito, C. D. de O.; Barbosa, E. F. Recomendações de acessibilidade para recursos educacionais abertos com foco em pessoas com deficiência visual. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 29, p. 957–979, 2021.

Sattele, V.; Ortiz, J. C. Generating user personas with ai: Reflecting on its implications for design. In: . [s.n.], 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.21606/drs.2024.1024>.

Soares, M. d. S. *et al.* Pedagogical and accessibility guidelines for open educational resources focusing on blind students. In: **Proceedings of the XXIII Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems**. [S.l.: s.n.], 2024. p. 1–13.

(W3C), W. W. W. C. **Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2**. 2023. <https://www.w3.org/TR/WCAG22/>. Latest version.

WebAIM. **The WebAIM Million: 2025 Report on the Accessibility of the Top 1 Million Home Pages**. 2025. <https://webaim.org/projects/million/>.

World Wide Web Consortium (W3C). **Multimodal Interaction Requirements**. 2003. <https://www.w3.org/TR/mmi-reqs/>. Acesso em: 21 jun. 2025.

Xie, Y.; Yang, L.; Zhang, M.; Chen, S.; Li, J. A review of multimodal interaction in remote education: Technologies, applications, and challenges. **Applied Sciences**, MDPI, v. 15, n. 7, p. 3937, 2025.