UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

ANA LÍGIA CEREALI

EXPERIMENTOS VIRTUAIS ACESSÍVEIS: ESTUDO SOBRE INCLUSÃO EM UM LABORATÓRIO REMOTO DE FÍSICA

ITAJUBÁ-MG

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

ANA LÍGIA CEREALI

EXPERIMENTOS VIRTUAIS ACESSÍVEIS: ESTUDO SOBRE INCLUSÃO EM UM LABORATÓRIO REMOTO DE FÍSICA

Dissertação apresentada à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências (PPGEC) da Universidade Federal de Itajubá - Linha de pesquisa: Processos Formativos e Práticas Pedagógicas

Área de Concentração: Educação em Ciências

Orientadora: Profa. Dra. Denise Pereira de Alcântara Ferraz
Coorientador: Prof.° Dr. Thiago Costa Caetano

ITAJUBÁ-MG

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

ANA LÍGIA CEREALI

EXPERIMENTOS VIRTUAIS ACESSÍVEIS: ESTUDO SOBRE INCLUSÃO EM UM LABORATÓRIO REMOTO DE FÍSICA

Banca Examinadora: Profa. Dra. Denise Pereira de Alcântara Ferraz (Orientadora)
Prof. Dr Thiago Costa Caetano (cooerientador)
Profa. Dra. Denise de Barros Capuzzo – UFT
Prof. Dr. Mikael Frank Rezende Júnior - UNIFEI

ITAJUBÁ-MG

2025

AGRADECIMENTOS

À minha família, Sandra dos Santos Cereali, Valdir Cereali e Cláudia de Freitas Gouveia,

pela base, apoio, incentivo... por serem inspirações!

Ao meu avô, Manoel dos Santos Silva,

pelo entusiasmo.

À minha avó, Aparecida Candela Silva,

pelo amor e carinho que sempre transbordou, pela alegria e todo afeto.

Ao meu companheiro, Sandro Costa Santana,

pela parceria, amizade, ternura, escaladas, aventuras...

Aos meus amigos, H. Arakaki, Carlos Gabriel, Caio, Gabriela, Rolim, Henri, Mari, Digo, Marcos, Karol, Fernanda, Luiz, Giu, João Pedro, Sarah,

pelo apoio, e que direta ou indiretamente colaboraram...

Ao colega, Natã Nadher Rezende Feitoza,

por toda ajuda e conversas.

À minha orientadora e ao meu coorientador, Denise Pereira de Alcântara Ferraz e Thiago Costa Caetano,

pela orientação e paciência.

A todos, dispenso meu profundo agradecimento e gratidão!

In memoriam

Otávio Froehlich

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo analisar a usabilidade de experimentos remotos após a implementação de recursos de acessibilidade digital, fundamentando-se no Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) e nas Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo da Web (WCAG). Para isso, foram desenvolvidas melhorias na acessibilidade digital de um experimento do Laboratório Remoto de Física da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), com foco na experiência de usuários com deficiência visual. A pesquisa foi estruturada em cinco etapas principais: (i) validação automática inicial, utilizando o validador AccessMonitor para identificar barreiras de acessibilidade; (ii) implementação das recomendações das WCAG combinadas aos princípios do DUA, promovendo múltiplas formas de representação, ação e engajamento; (iii) nova validação automática, avaliando a eficácia dos ajustes realizados; (iv) validação manual, aprofundando a análise com testes qualitativos; e (v) testes com usuários reais, verificando a usabilidade na prática e coletando feedbacks para refinamento das melhorias. Os resultados evidenciaram que a integração entre o DUA e as diretrizes das WCAG contribuiu significativamente para a acessibilidade e a usabilidade do ambiente virtual. Observou-se um aumento progressivo nas notas de acessibilidade do AccessMonitor ao longo das etapas de implementação, refletindo a eficácia das adaptações. Além disso, o teste com usuário real confirmou que as barreiras previamente identificadas foram mitigadas, garantindo maior autonomia na navegação e interação com o experimento remoto. Conclui-se que a adoção contínua de processos de validação – tanto automatizados quanto manuais – e a escuta ativa de usuários com deficiência são estratégias fundamentais para garantir a acessibilidade digital. O estudo reforça a necessidade de revisões periódicas e destaca o potencial do DUA como um modelo estruturante para tornar laboratórios remotos mais inclusivos. Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se a ampliação da análise para outras deficiências e a implementação de novas funcionalidades que favoreçam uma experiência educacional ainda mais equitativa.

PALAVRAS-CHAVE: Acessibilidade digital; laboratório remoto; usabilidade; deficiência visual; design universal para aprendizagem.

ABSTRACT

This research aimed to analyze the usability of remote experiments after the implementation of digital accessibility features, based on Universal Design for Learning (UDL) and the Web Content Accessibility Guidelines (WCAG). To achieve this, improvements in digital accessibility were developed for an experiment in the Remote Physics Laboratory at the Federal University of Itajubá (UNIFEI), focusing on the experience of users with visual impairments. The research was structured in five main stages: (i) initial automatic validation, using the AccessMonitor validator to identify accessibility barriers; (ii) implementation of the WCAG recommendations combined with UDL principles, promoting multiple means of representation, action, and engagement; (iii) new automatic validation, evaluating the effectiveness of the adjustments made; (iv) manual validation, deepening the analysis with qualitative tests; and (v) real-user testing, assessing usability in practice and collecting feedback for refinement of the improvements. The results showed that the integration of UDL and WCAG guidelines significantly contributed to the accessibility and usability of the virtual environment. There was a progressive increase in the accessibility scores of AccessMonitor throughout the implementation stages, reflecting the effectiveness of the adjustments. Additionally, real-user testing confirmed that previously identified barriers were mitigated, ensuring greater autonomy in navigation and interaction with the remote experiment. It was concluded that the continuous adoption of validation processes—both automated and manual—and the active listening of users with disabilities are key strategies for ensuring digital accessibility. The study emphasizes the need for periodic reviews and highlights the potential of UDL as a structuring model to make remote laboratories more inclusive. For future research, it is recommended to expand the analysis to other disabilities and to implement new features that promote an even more equitable educational experience.

KEYWORDS: Digital accessibility; remote laboratory; usability; visual impairment; universal design for learning.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

2. Ensino de Física e Educação Especial na perspectiva da Educação Inclusiva 19

2.1 A Educação Especial no Brasil 18

2.2 Desenho Universal para a Aprendizagem 27

2.3 Ensino de Física e Educação Especial 32

3. Acessibilidade Digital **36**

3.1 Acessibilidade Digital e Usabilidade 37

3.2 WCAG e eMAG 38

4. Experimentação e Experimento Remoto no Ensino de Física 43

4.1 Laboratório Remoto de Física 50

5. Percurso Metodológico 55

6. Resultados e Análises 60

Parte 1: Primeira Validação Automática 61

Parte 2: Aplicação das Recomendações do Resultado da Primeira Validação Automática e Realização da Segunda Validação Automática 65

Parte 3: Validação Manual 68

Parte 4: Teste com Usuário Real 69

Parte 5: Terceira e Última Validação Automática 71

6.1 Evolução da Acessibilidade Digital em Ambientes de Ensino 73

6.2 Usabilidade e Tecnologias Assistivas em Ambientes de Aprendizagem Virtual 78

6.3 Integração dos Princípios do DUA nas Melhorias de Acessibilidade e Usabilidade 80

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 83

REFERÊNCIAS **86**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As diferentes finalidades das atividades experimentais 44
Figura 2 - Mapa conceitual sobre as abordagens das atividades experimentais de natureza didática segundo os argumentos apresentados nos artigos estudados. 46
Figura 3 - Simulação Onda em Corda, disponível no Phet 49
Figura 4 - Experimento Ondas Estacionárias, disponível no Laboratório Remoto de Física 49
Figura 5 - Visão Geral da Arquitetura de um Laboratório Remoto 50
Figura 6 - Página Inicial do LabRemoto 51
Figura 7 - Instalação Física do LabRemoto 51
Figura 8 - Esquema da Estrutura do Laboratório Remoto de Física 52
Figura 9 - Mensagem de Erro do Validador ASES. 55
Figura 10 - Experimento Trilho de Ar, com a câmera focada no experimento. 57
Figura 11 - Experimento Trilho de Ar, com a câmera focada no ângulo de inclinação. 58
Figura 12 - Layout do site do validador AccessMonitor com o método inserir URL selecionado 61
Figura 13 - Amostra do Relatório da Primeira Validação Automática da Página Inicial 62
Figura 14 - Amostra do Relatório da Primeira Validação Automática da Página Experimentos 63
Figura 15 - Amostra do Relatório da Primeira Validação Automática Página Trilho de Ar 63
Figura 16 - Amostra do Relatório da Segunda Validação Automática da Página Inicial 67
Figura 17 - Amostra do Relatório da Segunda Validação Automática da Experimentos 68
Figura 18 - Amostra do Relatório da Segunda Validação Automática da Página Trilho Ar 68
Figura 19 - Layout do site do validador AccessMonitor com o método inserir código HTML selecionado 69

Figura 20 - - Amostra do Relatório da Primeira Validação Automática da Página Trilho de Ar Utilizando Código 69
Figura 21 - Amostra do Relatório da Segunda Validação Automática da Página Trilho de Ar Utilizando Código 70
Figura 22 - Tabela da P3, que Relaciona Posição (mm) e Tempo (ms) 73
Figura 23 - Amostra do relatório da última validação automática das páginas P1, P2 e P3 72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação das principais Leis, Decretos, Portarias, Resoluções e documentos que subsidiam a Política de Educação Especial e Educação Inclusiva no Brasil. 21
Quadro 2 - Características dos Três Princípios do DUA 29
quadro 3 - Organização das produções científicas selecionadas 31
Quadro 4 - Elementos da acessibilidade 37
Quadro 5 - Principais documentos que norteiam a implementação do eMAG. 40
quadro 6 - Passos para construção do desenvolvimento de acessibilidade digital 42
Quadro 7 - Informações sobre os artigos analisados para o desenvolvimento desse estudo sobre as concepções do Ensino Experimental de Ciências Naturais. 46
Quadro 8 - Descrição das Práticas Encontradas com o nível de prioridade de P1 e P2 64
Quadro 9 - Descrição das Práticas Encontradas com o nível de prioridade de P3 67
Quadro 10 - Descrição dos Pontos de Ajuste de cada Página e Resolução Tomada 72
Quadro 11 - Relação da Pontuação Obtida no Resultado de Validação Automática Utilizando o Validador AccessMonitor, com as Pesquisas e as Páginas Avaliadas. 79
quadro 12 - Relação das Práticas a Serem Resolvidas Relacionadas com os Princípios da DUA e suas Diretrizes 81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Número de matrículas de alunos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento ou altas habilidades em classes comuns ou especiais exclusivas, segundo a etapa de ensino – brasil – 2019-2023 26

Gráfico 2 - Evolução das matrículas de educação especial no ensino médio, por local de atendimento - Brasil 2011 – 2023 27

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEE	Atendimento Educacional Especializado
ASES	Avaliador e Simulador de Acessibilidade em Sítios
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAST	Center for Applied Special Technology
CNE	Conselho Nacional de Educação
DUA	Desenho Universal para Aprendizagem
eMAG	Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico
ENCINE	Ensino de Ciências e Inclusão Escolar
FUNDEB	Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação
HTML	HyperText Markup Language
IFQ	Instituto de Física e Química
LabRemoto	Laboratório Remoto de Física
LBI	Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MEC	Ministério da Educação
MG	Minas Gerais
ONG	Organização não governamental
P1	Página inicial
P2	Página experimento
P3	Página trilho de ar
PAEE	Público Alvo da Educação Especial
PDE	Plano de Desenvolvimento da Educação
PNE	Plano Nacional de Educação
UDL	Universal Design for Learning
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
URL	Uniform Resource Locator
W3C	World Wide Web Consortium

WAI	Web Accessibility Initiative
WCAG	Web Content Accessibility Guidelines

1. INTRODUÇÃO

De acordo com os norteamentos curriculares da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), uma das competências gerais da educação básica é:

> Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva (Brasil, 2018, p. 09).

Embora o uso do computador esteja cada vez mais presente nas escolas (Kleina, 2012), e a BNCC incentive o uso de tecnologias digitais, o panorama nacional de acessibilidade digital revela um cenário preocupante: até 2019, menos de 1% dos sites governamentais brasileiros eram acessíveis (Lomônaco Junior, 2021).

No âmbito das áreas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias — que incluem Física, Química e Biologia — a BNCC enfatiza a relevância de processos investigativos e práticas experimentais. Tais práticas devem possibilitar que os alunos **"**planejem e realizem atividades experimentais" (Brasil, 2018, p. 550), destacando a importância de integrar o uso da tecnologia de forma acessível e inclusiva. Salienta-se que:

> As análises, investigações, comparações e avaliações contempladas nas competências e habilidades da área podem ser desencadeadoras de atividades envolvendo procedimentos de investigação. Propõe-se que os estudantes do Ensino Médio ampliem tais procedimentos, introduzidos no Ensino Fundamental, explorando, sobretudo, experimentações e análises qualitativas e quantitativas de situações-problema (Brasil, 2018, p. 551).

Em fevereiro do ano de 2024, o Ministério da Educação (MEC) e o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) divulgaram os resultados do Censo Escolar 2023 (último Censo Escolar publicado), por meio do Resumo Técnico (Brasil, 2024). O texto que “foi pensado para ser um documento de referência geral e consulta” (Brasil, 2024, p.9) é destinado à diversos agentes educacionais como acadêmicos de pós-graduação e pesquisadores, sendo um material rico em “dados que exibem um panorama da educação básica no país, com algumas estatísticas apresentadas em série histórica, possibilitando traçar tendências

da área” (Brasil, 2024, p.9-10). De acordo com os dados apresentados no Resumo Técnico do Censo 2023 “o número de matrículas da educação especial chegou a 1,8 milhão em 2023, um aumento de 41,6% em relação a 2019” (Brasil, 2024, p.50).

Esse crescimento reflete o impacto de políticas públicas, como o Decreto nº 7.611, de novembro de 2011, que, em seu artigo 1º, diretriz VII, estabelece a "oferta de educação especial preferencialmente na rede regular de ensino" (Brasil, 2011). Essa diretriz reforça os princípios já previstos na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei nº 9.394/96) (Brasil, 1996), assegurando o direito de acesso e inclusão dos estudantes que compõem o Público-Alvo da Educação Especial (PAEE) — pessoas com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades/superdotação — na educação regular (Brasil, 2008).

Nesse contexto, em que a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estimula o uso de tecnologias e a realização de experimentos, e as salas de aula são marcadas pela heterogeneidade dos discentes, torna-se essencial garantir aos estudantes do Público-Alvo da Educação Especial (PAEE) as mesmas oportunidades de acesso aos conteúdos curriculares definidos para todos, promovendo uma inclusão efetiva (Silva e Bego, 2018).

Uma abordagem que facilita esse processo é o Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA), ou Universal Design for Learning (UDL) em inglês. Segundo Zerbato e Mendes (2018), o conceito de DUA foi desenvolvido por David Rose, Anne Meyer e pesquisadores do Center for Applied Special Technology (CAST) — traduzido como Centro de Tecnologias Especiais Aplicadas —, com o objetivo de superar os desafios de transformar escolas de ensino regular em ambientes verdadeiramente inclusivos e favoráveis à aprendizagem de todos.

O DUA é sustentado por três princípios fundamentais, baseados em pesquisas neurocientíficas, que orientam suas práticas e estratégias. De acordo com Sebastián-Heredero (2020), esses princípios são descritos da seguinte forma:

Princípio I - Proporcionar Modos Múltiplos de Apresentação: refere-se ao “o quê” da aprendizagem, ou seja, como as informações e os conteúdos são apresentados aos alunos.

Princípio II - Proporcionar Modos Múltiplos de Ação e Expressão: está relacionado ao “como” da aprendizagem, permitindo que os alunos demonstrem seus conhecimentos de diferentes maneiras.

Princípio III - Proporcionar Modos Múltiplos de Implicação, Engajamento e Envolvimento: aborda o “porquê” da aprendizagem, incentivando o engajamento e a motivação dos alunos no processo educacional.

Esses princípios promovem uma abordagem inclusiva, que valoriza as diferentes formas de aprender e busca atender às necessidades de todos os estudantes, ampliando as oportunidades de aprendizagem.

Considerando estes aspectos, esta pesquisa justifica-se pela escassez de estudos em Ensino de Ciências sob a perspectiva da Educação Inclusiva, conforme evidenciado por Silva e Bego (2018). Em seu levantamento bibliográfico nacional, os autores avaliaram como a área de Ensino de Ciências tem abordado a temática da Educação Especial. A análise foi delimitada a seis periódicos classificados como A1 e A2 na área de Ensino, resultando na identificação de 28 artigos publicados. Dentre esses, 15 trabalhos (53%) tratavam do ensino e aprendizagem de Ciências para alunos com algum tipo de necessidade educacional especial. Outros 47% estavam distribuídos entre 12 artigos sobre formação de professores de Ciências na perspectiva da Educação Especial e um sobre avaliação e currículo para Educação Especial (Silva e Bego, 2018, p. 352). Os autores concluíram que, dada a quantidade de artigos disponíveis nos periódicos analisados, o número de publicações abordando Ensino de Ciências e Educação Inclusiva é muito limitado.

Quando se analisa a relação entre a BNCC, o Ensino de Ciências e a Educação Inclusiva, constata-se a ausência de diretrizes específicas para a inclusão no documento normativo que define as habilidades e competências essenciais à formação integral dos estudantes (Brasil, 2018). Esse fato é corroborado pela pesquisa de Santos, Obanda e Cavalcanti (2021), que realizaram uma revisão bibliográfica em bases de dados relevantes para avaliar como a BNCC aborda a temática da inclusão. Os autores concluíram que, embora existam estudos que desenvolveram metodologias inclusivas na área de Ciências da Natureza, a BNCC não contempla pontos relacionados a metodologias ou didáticas inclusivas, evidenciando uma lacuna significativa no documento.

Essa ausência de diretrizes inclusivas ressalta a importância de aprofundar estudos e práticas que integrem a Educação Inclusiva no Ensino de Ciências, contribuindo para uma formação mais equitativa e acessível. As autoras ainda salientam que:

> Muitos são os desafios para afirmação de uma Educação Inclusiva nas áreas das Ciências da Natureza, especialmente levando em conta o documento norteador que entrou em vigor sem projetos e suporte para efetivação da inclusão dos alunos e alunas com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades/superdotação (Santos, Obanda e Cavalcanti, 2021, p. 393).

Dentro do contexto de uma carência significativa de pesquisas relacionadas ao Ensino de Ciências e à Educação Inclusiva, esta pesquisa tem como objetivo analisar a usabilidade de um experimento em um laboratório remoto de física após a implementação de recursos de acessibilidade digital. A proposta é compreender como um currículo escolar inclusivo, que utilize experimentos e tecnologias, pode ser melhorado para atender às necessidades de todos os estudantes, especialmente aqueles com deficiência visual. Para isso, a pesquisa se baseia nas orientações de acessibilidade digital e nos princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA), buscando avaliar como essas diretrizes influenciam a usabilidade dos experimentos remotos.

O objetivo principal desta dissertação é analisar a usabilidade de experimentos remotos após a implementação de acessibilidade digital, considerando as diretrizes do DUA e as orientações de acessibilidade digital. Em particular, foca em como essas mudanças impactam usuários com deficiência visual. Entre os objetivos específicos, destaca-se a caracterização da importância dos experimentos remotos para o ensino de física sob a ótica inclusiva, à luz do DUA, e o desenvolvimento e implementação de recursos de acessibilidade digital no site do laboratório remoto e em um experimento específico do acervo.

A dissertação está estruturada em cinco capítulos. No primeiro, são abordados o Ensino de Física e a Educação Especial dentro da perspectiva da Educação Inclusiva, com ênfase no conceito de Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA). Este capítulo visa situar o leitor no contexto teórico necessário para compreender como a inclusão pode ser promovida no ensino de física, especialmente para alunos com deficiência. O segundo capítulo discute a acessibilidade digital, apresentando os conceitos fundamentais de acessibilidade e usabilidade e as orientações e normas pertinentes à implementação de acessibilidade digital em ambientes educacionais. O terceiro capítulo detalha o laboratório remoto utilizado nesta pesquisa, explicando as

funcionalidades e os aspectos técnicos relacionados à experimentação remota, além de discutir as implicações pedagógicas dessa ferramenta no ensino de física.

O quarto capítulo descreve o percurso metodológico adotado, fundamentado em uma pesquisa qualitativa. A coleta de dados foi realizada por meio de contato direto com o objeto de estudo, permitindo uma análise detalhada da situação em questão, conforme os métodos descritos por Lüdke e André (1986). Essa abordagem qualitativa possibilita a construção de uma compreensão mais profunda do impacto das alterações feitas no laboratório remoto para garantir a acessibilidade digital.

No quinto capítulo, são apresentados os resultados da pesquisa, com uma análise detalhada da situação inicial de três páginas do laboratório remoto (a página inicial, os experimentos e o trilho de ar). São discutidas as melhorias realizadas para garantir a acessibilidade digital, considerando a melhoria da usabilidade das páginas e a adaptação dos recursos para usuários com deficiência visual. A conclusão sintetiza as contribuições da pesquisa, destacando como a implementação de acessibilidade digital pode ampliar o alcance e a eficácia dos experimentos remotos, tornando-os mais inclusivos e eficazes no ensino de física.

Assim, esta pesquisa propõe-se a contribuir para a discussão sobre a acessibilidade no ensino de ciências, especialmente no que tange ao uso de tecnologias e ambientes virtuais de aprendizagem, com foco na promoção de uma educação verdadeiramente inclusiva para todos os estudantes.

2. Ensino de Física e Educação Especial na perspectiva da Educação Inclusiva

Neste capítulo, abordaremos a Educação Especial, com ênfase no contexto brasileiro, destacando como essa temática é explorada na área de Ensino de Ciências, especialmente no ensino de física. Além disso, discutiremos o papel do Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) como uma ferramenta potencial para promover práticas pedagógicas inclusivas no Ensino de Física, alinhadas aos princípios da Educação Especial.

2.1 A Educação Especial no Brasil

Para compreender a Educação Especial, é essencial refletir inicialmente sobre o conceito de deficiência. Essa reflexão não pode desconsiderar o impacto das concepções sociais na construção desse conceito. Ainda hoje, testemunhamos situações de desrespeito às pessoas com deficiência, perpetuando práticas excludentes que já eram evidentes em séculos passados. Mas, afinal, o que significa deficiência? Segundo Diniz (2007), deficiência é um conceito complexo que reconhece a existência de lesões no corpo, mas que também denuncia as estruturas sociais que oprimem as pessoas com deficiência. Essa opressão está intrinsecamente ligada à forma como a sociedade se organiza economicamente, baseada em uma demanda intensa por mão de obra.

Para aprofundar essa análise, discutiremos os Modelos Médico, Social e Pós-social da Deficiência, enfatizando a importância de contextualizá-los nos momentos históricos em que foram concebidos.

O Modelo Médico ganhou destaque a partir do Renascimento e da consolidação do capitalismo como modelo de produção dominante. Esse período não promoveu apenas mudanças econômicas, mas também transformações políticas, sociais e na subjetivação dos indivíduos. Nesse contexto, a medicina, com seu olhar racionalista, passou a influenciar profundamente as relações físicas e morais entre os indivíduos e a sociedade (Bisol, Pegorine e Valentini, 2017).

Esse modelo se fundamenta em uma abordagem assistencialista e integracionista, tratando a deficiência como uma patologia a ser curada ou como uma condição irreversível. Sob essa perspectiva, a pessoa com deficiência é educada e moldada para se adequar aos padrões impostos pelo modelo médico, muitas vezes

sem considerar os custos físicos, emocionais e sociais desse processo para o indivíduo (Barbosa-Fohrmann, 2017).

Os reflexos do Modelo Médico são visíveis em diversos aspectos da sociedade, incluindo a legislação. Um exemplo é o Artigo 27 da Lei Brasileira de Inclusão (LBI), que ainda carrega influências dessa abordagem.

> A educação constitui direito da pessoa com deficiência, assegurados sistema educacional inclusivo em todos os níveis e aprendizado ao longo de toda a vida, de forma a alcançar o máximo desenvolvimento possível de seus talentos e habilidades físicas, sensoriais, intelectuais e sociais, segundo suas características, interesses e necessidades de aprendizagem (Brasil, 2015).

Santos (2016) destaca que a aprendizagem frequentemente é associada a características físicas, sensoriais e intelectuais, bem como às habilidades, interesses e necessidades individuais dos aprendizes. Essa concepção, entretanto, foi gradualmente questionada e transformada ao longo do século XX, especialmente com o surgimento de movimentos contraculturais, lutas das minorias e a busca pela igualdade de direitos humanos. Nesse contexto, emergiu uma nova perspectiva política, social e teórica sobre a deficiência, conhecida como Modelo Social (Bisol, Pegorine e Valentini, 2017).

O Modelo Social fundamenta-se na lógica da inclusão, argumentando que a pessoa com deficiência não deve ser responsabilizada pela sua exclusão social ou obrigada a se adaptar ao meio. Pelo contrário, cabe à sociedade adaptar-se às necessidades das pessoas com deficiência, eliminando barreiras de acessibilidade e repensando práticas e estruturas excludentes (Barboa-Fohrmann, 2017).

Sob essa perspectiva, a inclusão passa a ser uma responsabilidade coletiva. O foco desloca-se da deficiência como característica individual para as barreiras impostas pela sociedade, sejam elas arquitetônicas, pedagógicas ou atitudinais. Assim, qualquer espaço pode e deve ser ocupado por pessoas com deficiência, desde que tais barreiras sejam superadas.

Com o avanço das discussões sobre deficiência e o aumento da visibilidade dessas questões no início do século XXI, surgiram novas abordagens críticas ao Modelo Social. Influenciados por movimentos como o feminismo, os estudos de raça, o marxismo e a teoria queer, essas críticas deram origem ao chamado Modelo Pós-social (Bisol, Pegorine e Valentini, 2017). Esse modelo propõe uma compreensão

multidisciplinar, integrada, contextualizada e social da deficiência, buscando ir além das limitações do Modelo Social. Contudo, como destacam Bisol, Pegorine e Valentini (2017), essa abordagem ainda está em processo de consolidação.

É importante ressaltar que o surgimento de um novo modelo de compreensão da deficiência não implica a extinção dos anteriores. Os Modelos Médico, Social e Pós-social coexistem, influenciando simultaneamente práticas de inclusão ou exclusão na sociedade. Essa sobreposição reflete a complexidade das discussões e das dinâmicas sociais em torno da deficiência, exigindo uma abordagem crítica e contextualizada para avançar na construção de uma sociedade verdadeiramente inclusiva.

Nesta pesquisa, adotamos como referência o Modelo Social e o Modelo Pós-social, cujos fundamentos discutidos anteriormente estão alinhados com o objetivo central do estudo: derrubar barreiras e promover uma abordagem multidisciplinar para a compreensão e prática da inclusão educacional.

No Brasil, a Educação Especial teve seu início sob uma perspectiva assistencialista, baseada no Modelo Médico. Nesse período, os alunos com deficiência, quando tinham acesso à educação formal, eram segregados em escolas ou salas especiais. Como destaca Kassar (2011), o atendimento educacional destinado a essas pessoas foi historicamente construído de forma separada da educação oferecida à população considerada "normal" (Kassar, 2011, p. 62).

Essa segregação foi, em parte, institucionalizada pelo próprio Ministério da Educação (MEC), que, no passado, promoveu a integração de alunos com deficiência em escolas regulares, mas em salas especiais, perpetuando práticas excludentes.

É importante diferenciar os conceitos de Educação Especial e Educação Inclusiva, pois, embora relacionados, eles possuem enfoques distintos. Segundo o MEC (Brasil, 2008): Educação Especial é uma modalidade voltada especificamente para o atendimento do Público-Alvo da Educação Especial (PAEE), que inclui alunos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação. Esses estudantes estão matriculados na rede regular de ensino e recebem suporte pedagógico especializado. A Educação Inclusiva, por outro lado, refere-se ao direito de todos os cidadãos à inclusão no ensino regular, independentemente de terem ou não alguma deficiência.

Os principais marcos legais que orientam a Política de Educação Especial e Educação Inclusiva no Brasil foram sintetizados no Quadro 1. Para sua elaboração,

utilizamos fontes confiáveis, como o site Inclusão Já! Em defesa do Direito à Educação Inclusiva; a pesquisa "Um breve histórico da Educação Inclusiva no Brasil", apresentada no VII Congresso Nacional de Educação por Bezerra e Antero (2020); e, a compilação de legislações sobre Educação Inclusiva disponível no site oficial do MEC.

Esses documentos refletem a evolução normativa no campo da Educação Especial e Inclusiva, destacando avanços e desafios ainda presentes na construção de um sistema educacional verdadeiramente inclusivo.

Quadro 1 - Relação das principais Leis, Decretos, Portarias, Resoluções e documentos que subsidiam a Política de Educação Especial e Educação Inclusiva no Brasil.

ANO	DOCUMENTO	DESCRIÇÃO
1988	Constituição da República Federativa do Brasil	Estabelece “promover o bem de todos, sem preconceitos de origem, raça, sexo, cor, idade e quaisquer outras formas de discriminação” (art.3º inciso IV). Define, ainda, no artigo 205, a educação como um direito de todos, garantindo o pleno desenvolvimento da pessoa, o exercício da cidadania e a qualificação para o trabalho. No artigo 206, inciso I, estabelece a “igualdade de condições de acesso e permanência na escola” como um dos princípios para o ensino e garante, como dever do Estado, a oferta do atendimento educacional especializado, preferencialmente na rede regular de ensino (art. 208). (Brasil, 1988)
1989	Lei nº 7.853/89	Dispõe sobre o apoio às pessoas portadoras de deficiência e sua integração social. Define como crime recusar, suspender, adiar, cancelar ou extinguir a matrícula de um estudante por causa de sua deficiência, em qualquer curso ou nível de ensino, seja ele público ou privado. A pena para o infrator pode variar de um a quatro anos de prisão, mais multa. (Brasil, 1989)
1990	Estatuto da Criança e do	O artigo 55 reforça os dispositivos legais supracitados ao determinar que “os pais ou responsáveis têm a obrigação

	Adolescente – Lei nº. 8.069/90	de matricular seus filhos ou pupilos na rede regular de ensino". (Brasil,1990)
1990	Declaração Mundial de Educação para Todos	Documentos internacionais passam a influenciar a formulação das políticas públicas da educação inclusiva. (UNESCO, 1990)
1994	Declaração de Salamanca	Dispõe sobre princípios, políticas e práticas na área das necessidades educacionais especiais. (UNESCO, 1994)
1994	Política Nacional de Educação Especial	Em movimento contrário ao da inclusão, demarca retrocesso das políticas pública ao orientar o processo de "integração instrucional" que condiciona o acesso às classes comuns do ensino regular àqueles que "(…) possuem condições de acompanhar e desenvolver as atividades curriculares programadas do ensino comum, no mesmo ritmo que os alunos ditos normais". (Brasil, 1994)
1996	LDB: A atual Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, Lei nº 9.394/96	no artigo 59, preconiza que os sistemas de ensino devam assegurar aos alunos currículo, métodos, recursos e organização específicos para atender as suas necessidades. Essa lei atribui às redes de ensino o dever de disponibilizar todos os recursos necessários para o atendimento igualitário entre os estudantes com necessidades educacionais especiais e os demais estudantes. (Brasil, 1996)
1999	Decreto nº 3.298	Dispõe sobre a Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência. A Educação Especial é definida como uma modalidade transversal a todos os níveis e modalidades de ensino. (Brasil, 1999b)
1999	Resolução CEB N.º 4	Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional de Nível Técnico. (Brasil, 1999a)
2001	Diretrizes Nacionais para a Educação Especial na	Determina no artigo 2º que: "Os sistemas de ensino devem matricular todos os alunos, cabendo às escolas organizarem-se para o atendimento aos educandos com necessidades educacionais especiais, assegurando as

	Educação Básica (Resolução CNE/CEB nº 2/2001)	condições necessárias para uma educação de qualidade para todos. (Brasil, 2001b).
2001	Plano Nacional de Educação – PNE, Lei nº 10.172/2001	Destaca que “o grande avanço que a década da educação deveria produzir seria a construção de uma escola inclusiva que garanta o atendimento à diversidade humana”. (Brasil, 2001c)
2001	Convenção da Guatemala (1999), promulgada no Brasil pelo Decreto nº 3.956/2001	Afirma que as pessoas com deficiência têm os mesmos direitos humanos e liberdades fundamentais que as demais pessoas, definindo como discriminação com base na deficiência toda diferenciação ou exclusão que possa impedir ou anular o exercício dos direitos humanos e de suas liberdades fundamentais. (Brasil, 2001a)
2002	Resolução CNE/CP nº1/2002	Estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, define que as instituições de ensino superior devem prever em sua organização curricular formação docente voltada para a atenção à diversidade e que contemple conhecimentos sobre as especificidades dos alunos com necessidades educacionais especiais.
2002	Lei Nº 10.436/02	Reconhece como meio legal de comunicação e expressão a Língua Brasileira de Sinais (Libras).
2004	Cartilha – O Acesso de Alunos com Deficiência às Escolas e Classes Comuns da Rede Regular	O Ministério Público Federal divulga o documento com o objetivo de disseminar os conceitos e diretrizes mundiais para a inclusão.

2005	Decreto nº 5.626/05	Regulamenta a Lei nº 10.436/02, visando à inclusão dos alunos surdos, dispõe sobre a inclusão da Libras como disciplina curricular, a formação e a certificação de professor, instrutor e tradutor/intérprete de Libras, o ensino da Língua Portuguesa como segunda língua para alunos surdos e a organização da educação bilíngüe no ensino regular.
2006	Plano Nacional de Educação em Direitos Humanos	Documento elaborado pelo Ministério da Educação (MEC), Ministério da Justiça, Unesco e Secretaria Especial dos Direitos Humanos. Entre as metas está a inclusão de temas relacionados às pessoas com deficiência nos currículos das escolas.
2007	Plano de Desenvolvimento da Educação – PDE	Traz como eixos a acessibilidade arquitetônica dos prédios escolares, a implantação de salas de recursos multifuncionais e a formação docente para o atendimento educacional especializado.
2008	Decreto Nº 6.571 -Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva	Dispõe sobre o atendimento educacional especializado (AEE) na Educação Básica e o define como “o conjunto de atividades, recursos de acessibilidade e pedagógicos organizados institucionalmente, prestado de forma complementar ou suplementar à formação dos alunos no ensino regular”. O decreto obriga a União a prestar apoio técnico e financeiro aos sistemas públicos de ensino no oferecimento da modalidade. Além disso, reforça que o AEE deve estar integrado ao projeto pedagógico da escola.
2011	Plano Nacional de Educação (PNE)	Projeto de lei ainda em tramitação. A Meta 4 pretende “Universalizar, para a população de 4 a 17 anos, o atendimento escolar aos estudantes com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação na rede regular de ensino.”. Dentre as estratégias, está garantir repasses duplos do Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação

		Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação (FUNDEB) a estudantes incluídos; implantar mais salas de recursos multifuncionais; fomentar a formação de professores de AEE; ampliar a oferta do AEE; manter e aprofundar o programa nacional de acessibilidade nas escolas públicas; promover a articulação entre o ensino regular e o AEE; acompanhar e monitorar o acesso à escola de quem recebe o benefício de prestação continuada. (BRASIL, 2011)

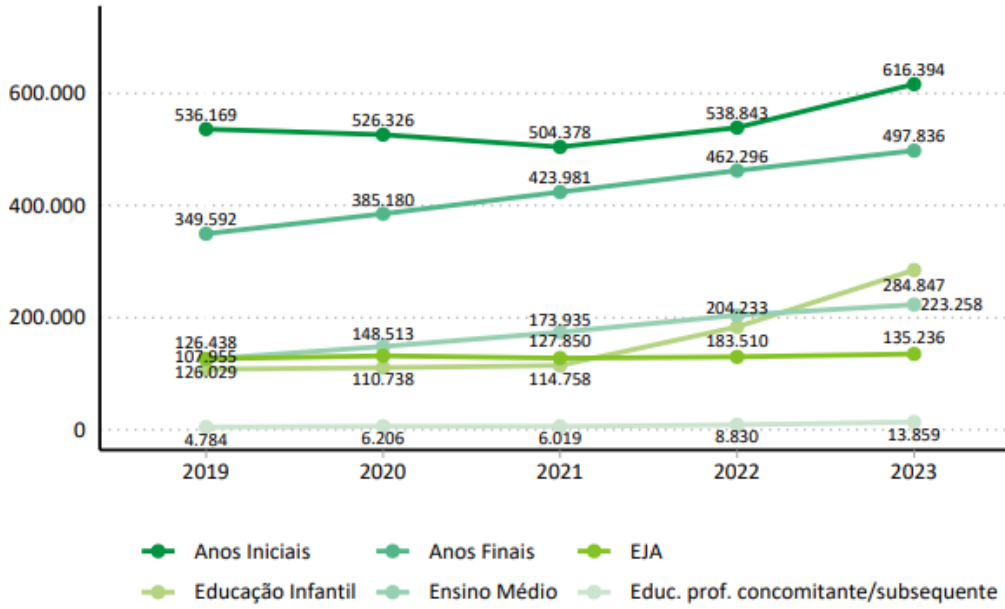
Fonte: Elaborado pelo autor.

Todos esses documentos contribuem para a implementação e sustentação da Educação Especial na perspectiva da Educação Inclusiva. No entanto, ainda há inúmeros desafios no âmbito educacional e nas estruturas sociais que precisam ser superados para garantir avanços e evitar retrocessos nas conquistas alcançadas nessa área.

Uma maneira de evidenciar a relevância da evolução normativa no campo da Educação Especial e Inclusiva é por meio dos dados do último Censo Escolar da Educação Básica, publicado recentemente. De acordo com o documento de divulgação, em 2023, o número de matrículas na educação especial atingiu 1,8 milhão (Brasil, 2024). O Gráfico 1 detalha as matrículas de alunos PAEE entre os anos de 2019 e 2023, segmentadas por etapa de ensino. Observa-se um aumento expressivo, especialmente na educação infantil e nos anos finais do ensino fundamental, com o maior crescimento registrado nos anos iniciais, que alcançaram 62,9% do total de matrículas (Brasil, 2024).

Analisando a evolução das matrículas em educação especial no ensino médio, etapa em que é oferecida a disciplina de Física, entre 2011 e 2023 (conforme ilustrado no Gráfico 2), percebe-se uma tendência de crescimento nas matrículas em classes comuns, enquanto as matrículas em classes especiais e escolas exclusivas para alunos PAEE permaneceram constantes, mas com números significativamente menores em comparação com o ensino regular. Esses dados refletem os avanços das políticas públicas voltadas à Educação Especial, que têm promovido maior inclusão e acesso à educação para todos.

Gráfico 1 - Número de matrículas de alunos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento ou altas habilidades em classes comuns ou especiais exclusivas, segundo a etapa de ensino – brasil – 2019-2023



Fonte: Elaborado pela Deed/Inep com base nos dados do Censo Escolar da Educação Básica (Brasil, 2024, p. 51).

Gráfico 2 - Evolução das matrículas de educação especial no ensino médio, por local de atendimento - Brasil 2011 – 2023

Fonte: Inep/Censo Escolar 2011-2023

Os dados apresentados nos Gráficos 1 e 2 são fundamentais, pois oferecem um panorama detalhado das matrículas de alunos PAEE nos últimos anos, evidenciando uma tendência de crescimento, com predominância nas classes do ensino regular. Esses números e perspectivas reforçam a necessidade urgente de uma inclusão educacional planejada e concebida desde o início, de maneira a garantir o acesso e a participação de todos os alunos, sem exceção.

No próximo item, discutiremos como o alinhamento entre os estudos da Educação Especial e a abordagem do Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) pode tornar o currículo mais acessível a todos os alunos. Exploraremos o conceito do DUA, sua fundamentação teórica e os benefícios de sua aplicação no contexto educacional inclusivo.

2.2 Desenho Universal para a Aprendizagem

O Centro de Tecnologia Especial Aplicada (Center for Applied Special Technology - CAST), no início da década de 1990, investigou, desenvolveu e articulou os princípios e práticas do Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) (Sebastián-Heredero, 2020). O termo tem origem no conceito de Desenho Universal, inicialmente associado à área do desenvolvimento arquitetônico e seus produtos.

O DUA busca potencializar a independência e a participação de pessoas com necessidades especiais, oferecendo múltiplos meios de comunicação, cooperação e colaboração (Sonza et al., 2013). De acordo com Oliveira, Munster e Gonçalves (2019), o DUA contribui significativamente para a área da Educação Especial, pois enxerga cada indivíduo de maneira singular e busca atender às suas particularidades.

Sebastián-Heredero (2020) traduziu e revisou as obras do CAST, destacando que, na Lei de Oportunidades em Educação Superior (Higher Education Opportunity Act) de 2008, o governo dos Estados Unidos oficializou a definição de Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA). Essa definição descreve o DUA como um conjunto de princípios baseados em evidências científicas que orientam a prática pedagógica, com o objetivo de:

> a) Proporciona flexibilidade nas formas que as informações são apresentadas, nos modos que os estudantes respondem ou demonstram seus conhecimentos e habilidades, e nas maneiras que os estudantes são motivados e se comprometem com seu próprio aprendizado. b) Reduz as barreiras na forma de ensinar, proporciona adaptações, apoios/ajudas e desafios apropriados, e mantém altas

> expectativas de êxito para todos os estudantes, incluindo aqueles com deficiências e os que se encontram limitados por sua competência linguística no idioma da aprendizagem. (Sebastián-Heredero, 2020, p. 737).

O Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) baseia-se em três princípios fundamentais: proporcionar múltiplos meios de apresentação – oferecendo diferentes formas de apresentar informações e conteúdos; proporcionar múltiplos meios de ação e expressão – permitindo que os alunos demonstrem o que aprenderam de diferentes maneiras; proporcionar múltiplos meios de engajamento – incentivando o envolvimento e a motivação por meio de abordagens diversificadas, conforme já destacado anteriormente.

Esses princípios são organizados em um conjunto de diretrizes e pontos de verificação, que foram detalhados ao longo do texto. Esses elementos visam assegurar um ensino acessível e equitativo para todos os estudantes, independentemente de suas características ou necessidades (Sonza et al., 2013; Oliveira, Munster e Gonçalves, 2019; Silva e Muriel Júnior, 2020; Sebastián-Heredero, 2020).

Além disso, como destacam Sonza et al. (2013), o DUA pode ser concebido como uma abordagem para desenvolver ambientes, serviços, produtos e tecnologias que sejam utilizáveis de forma equitativa, proporcionando segurança e autonomia ao maior número possível de pessoas. Isso elimina ou minimiza a necessidade de adaptações posteriores, promovendo uma inclusão mais efetiva desde o planejamento inicial.

O Desenho Universal para a Aprendizagem foi concebido em colaboração com pesquisadores, neurocientistas e profissionais do âmbito da educação e da tecnologia (Sebastián-Heredero, 2020). Para orientar a aplicação do DUA, foram estipulados três princípios que embasam as diretrizes. Os princípios são: Proporcionar modos múltiplos de apresentação; proporcionar modos múltiplos de ação e expressão; proporcionar modos múltiplos de auto envolvimento. No Quadro 2, podemos compreender as características de cada um dos princípios.

Quadro 2 - Características dos Três Princípios do DUA

Fonte: CAST (2011)

Sebastián-Heredero (2020) destaca que os princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) estão organizados em três grandes princípios, cada um subdividido em três diretrizes (listadas abaixo no texto), que por sua vez apresentam um conjunto de pontos de verificação. Em termos de estrutura, eles são apresentados da seguinte forma: princípio (o nível de detalhe mais geral); diretriz; e ponto de verificação (o nível de detalhe mais específico). Conforme mencionado no site do CAST, “como as Diretrizes UDL devem ser constantemente informadas pelo feedback do campo e por novas pesquisas, elas foram revisadas diversas vezes no passado. Estamos, atualmente, no processo de atualizar as Diretrizes mais uma vez” (CAST, 2018).

A aplicação dos princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) possibilita o desenvolvimento de propostas de ensino que integram a Educação Especial e a Educação Inclusiva, uma vez que o planejamento é concebido desde o

início para atender às necessidades de todos os estudantes. Em síntese, o DUA configura-se como uma abordagem educacional alinhada aos princípios da inclusão, promovendo o direito amplo e universal à educação, ao mesmo tempo em que respeita as individualidades de cada aluno (Silva, Sanzolo e Lucas, 2022, p. 623).

Vitalino, Prais e Santos (2019), estudaram em produções científicas nacionais a aplicação do DUA na promoção da educação inclusiva. Para tal, estabeleceram a temática, “Desenho Universal para a Aprendizagem aplicado à promoção da educação inclusiva”. Com intervalo temporal dos últimos dez anos, adotaram como base para coleta de dados: Google Acadêmico, Catálogo de Teses e dissertações da Capes, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e o Portal de Periódicos da Capes. Utilizando os descritivos: Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) e as variáveis – da, para, na, de -, e em inglês, Universal Design for Learning (UDL) em todas as bases de dados, associada a palavra-chave “inclusão”. (Vitalino, Prais e Santos, 2019). Obtiveram como resultado nas buscas 68 produções, sendo que 44 delas foram excluídas, tendo como critérios utilizados para inclusão e exclusão: “1. pesquisas concluídas publicadas em idioma português; 2. busca por frase exata do descritor; 3. exclusão de arquivos duplicados ou triplicados na mesma base ou em banco de dados diferentes” (Vitalino, Prais e Santos, 2019, p.811).

Após extenso aprofundamento nas leituras das 24 publicações que compuseram o escopo da pesquisa, chegaram em cinco categorias: “1) elaboração de material didático, 2) formação docente (inicial e/ou continuada), 3) planejamento de ensino, 4) articulação com outro conceito e 5) prática pedagógica.” (Vitalino, Prais e Santos, 2019, p.812). O Quadro 3, apresentamos a organização das produções científicas em suas respectivas categorias.

Como resultado da análise do escopo da pesquisa, Vitalino, Prais e Santos (2019), identificaram sete tipos de pesquisas construídas pelos autores elencados no quadro 3: “qualitativa descritiva (três), experimental (cinco), viés colaborativo (cinco), intervenção pedagógica (duas), pesquisa-ação (duas), análise documental (duas) e exploratória (cinco)**”** (Vitalino, Prais e Santos, 2019, p.831). E concluíram que “o DUA redireciona o pensar reflexivo sobre a prática docente e instrumentaliza os professores para a organização da atividade de ensino e a elaboração de recursos didáticos mais acessíveis” (Vitalino, Prais e Santos, 2019, p.824).

Quadro 3 - Organização das produções científicas selecionadas

Categorias	Tese	Dissertação	Artigo publicado em revista	Texto completo publicado em anais de evento
Elaboração de material didático	Sondermann (2014) Santos (2016)	Tizioto (2013) Costa (2016) Kranz (2011)	Bastos (2016) Lemos, Bernardi e Dal-Forno (2016)	Santos e Fernandes (2017)
Formação docente inicial e/ou continuada	Zerbato (2018)	Prais (2016)	Pletsch, Souza e Orleans (2017) Linderman, Bastos e Roman (2017) Prais e Rosa (2017) Vilaronga, Mendes e Zerbato (2016) Ricardo, Saço e Ferreira (2017) Prais e Rosa (2016)	----------
Planejamento de ensino	----------	----------	Prais e Rosa (2016) Zerbato e Mendes (2018)	Prais (2017)
Articulação com outro conceito	----------	Ricardo (2017)	Calegari, Silva e Silva (2014)	----------
Prática pedagógica	----------	Pacheco (2017) Roquejani (2018)	Cruz e Nascimento (2018)	----------
Total	3	7	12	2

Fonte: Vitalino, Prais e Santos (2019, p.812)

Quando alinhado ao ensino de Física, o DUA não apenas potencializa a acessibilidade, mas também cria condições para uma aprendizagem significativa e equitativa, beneficiando todos os estudantes, independentemente de suas especificidades. Essa integração reforça o papel do DUA como uma ferramenta indispensável para práticas pedagógicas inclusivas e eficazes. No próximo subitem, tratamos sobre a interação do ensino de física e a educação especial.

2.3 Ensino de Física e Educação Especial

A abordagem da Educação Especial e da Educação Inclusiva no campo de pesquisa em Ensino de Física vem ganhando relevância e atenção crescentes. Optar por investigar o Ensino de Física voltado à Educação Especial reflete não apenas uma

preocupação com a melhoria das práticas de ensino, mas também a necessidade de atender à legislação brasileira já mencionada. Isso implica criar estratégias pedagógicas que efetivamente contemplem a diversidade de todos os estudantes.

Os dados do Censo Escolar de 2023, já apresentados anteriormente, indicam que o número de matrículas da educação especial chegou a 1,8 milhão em 2023, tendo um aumento de 41,6% em relação a 2019 (Brasil, 2024). Esses números apontam dois cenários importantes: primeiro, que as políticas públicas de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva têm surtido efeitos positivos; e segundo que esse crescimento anual progressivo exige que professores de todas as áreas estejam preparados para implementar práticas educacionais inclusivas, evitando abordagens integracionistas que promovam segregação disfarçada.

Na análise de artigos e dissertações sobre Ensino de Física/Ciências e Educação Especial, uma temática recorrente é a relação entre o professor regente de ciências e os alunos do Público-Alvo da Educação Especial (PAEE), bem como a interação com os professores auxiliares ou de Atendimento Educacional Especializado (AEE).

Ladeira (2020), em seu estudo sobre concepções e práticas inclusivas de professores de ciências e matemática no município de Itajubá-MG, identifica um discurso amplamente favorável à inclusão, mas que não se reflete nas práticas pedagógicas, com poucas exceções relatadas. De maneira semelhante, Ribeiro (2020), em sua pesquisa sobre concepções de professores de ciências naturais acerca da inclusão de alunos com deficiência, constata que os educadores frequentemente associam inclusão ao ideal de integração, compreendendo a escola apenas como um espaço de interação entre alunos com e sem deficiência.

Esses resultados sugerem uma predominância do Modelo Médico de Deficiência nas percepções dos professores. Franco (2021), em sua pesquisa sobre a relação entre o professor e o intérprete de Libras no Ensino de Ciências para alunos surdos, também destaca a necessidade de repensar a forma como os professores interagem com alunos do PAEE e com profissionais do AEE. O estudo aponta que a ideia de escola inclusiva ainda não é plenamente entendida, persistindo uma falsa equivalência entre inclusão e integração.

Outras pesquisas reforçam a importância das interações no contexto inclusivo. Peixe e Leonel (2020), em Ensino de Física e Educação Especial, analisam a interação entre professores de física e professores da Educação Especial. Vargas e

Gobara (2014), por sua vez, investigam as interações entre alunos surdos, professores e intérpretes em aulas de física sob uma abordagem vygotskiana, explorando os desafios e possibilidades dessas relações.

Há também estudos de levantamento bibliográfico e revisões, como os de Silva e Bego (2018), que realizaram um levantamento bibliográfico sobre Educação Especial e Ensino de Ciências no Brasil, e de Picanço, Andrade Neto e Geller (2021), que discutem o estado da arte do Ensino de Física para Surdos. Além disso, investigações sobre estratégias didáticas, como as propostas de Santos, Carvalho e Alecrim (2018), que desenvolveram estratégias inclusivas para o ensino de física a jovens com deficiência intelectual, e de Pereira, Gonçalves e Brisi (2021), que analisaram as publicações sobre Ensino de Física e Astronomia para pessoas com deficiência visual, têm contribuído significativamente para o campo.

Ampliar o número de ambientes que promovam uma educação inclusiva e acessível é fundamental para superar as barreiras enfrentadas pela inclusão. Nesse sentido, disponibilizar um ambiente virtual educacional que seja acessível, funcional e adaptado às necessidades de todos os estudantes é uma estratégia poderosa para fomentar a inclusão em sua totalidade. Isso reforça a ideia de que uma educação verdadeiramente inclusiva requer esforços integrados no desenvolvimento de políticas, práticas e recursos que contemplem a diversidade de forma equitativa.

Ao abordarmos o ensino de física, ciências e educação especial na perspectiva da educação inclusiva, é indispensável destacar as contribuições significativas do Professor Éder Pires de Camargo, uma referência acadêmica e inspiração no campo. Pessoa com deficiência visual, Camargo é professor associado do Departamento de Física e Química da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus de Ilha Solteira, e credenciado no Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências da UNESP, Campus de Bauru.

Camargo tem se debruçado sobre questões contemporâneas de acessibilidade e inclusão educacional, especialmente durante e após a pandemia de COVID-19. Em "Ensino Remoto durante a Pandemia da Covid-19 nas escolas estaduais do Estado de São Paulo: em xeque a acessibilidade para estudantes cegos e com baixa visão" (Lippe e Camargo, 2024), analisou-se os recursos de acessibilidade disponibilizados pelo Governo do Estado de São Paulo entre 2020 e 2021 para estudantes cegos e

com baixa visão nas disciplinas de ciências. A pesquisa revelou desafios estruturais e pedagógicos que limitam o acesso equitativo à educação.

Na publicação de Critelli et al. (2024), intitulada "Saberes docentes y educación inclusiva en la confección de recursos didácticos de ciências", Camargo e coautores discutem a elaboração de materiais didáticos inclusivos por licenciandos em ciências naturais. O estudo reforça a importância da formação docente no desenvolvimento de recursos pedagógicos que atendam às necessidades de estudantes com deficiência.

Em uma contribuição inédita, Camargo entrevistou Miquel Albert Soler, cego de nascença e professor doutor da Universidade de Rioja, Espanha. A entrevista, intitulada "Entrevista com Miquel Albert Soler" (Camargo e Soler, 2024), explora a utilização da didática multissensorial, discutida no livro de Soler, Didáctica Multisensorial de las Ciencias. O diálogo oferece insights sobre a inclusão de alunos PAEE e metodologias multissensoriais aplicadas ao ensino regular.

O trabalho de Éder Pires de Camargo, com foco na inclusão de alunos com deficiência, especialmente no ensino de ciências, nos permite compreender a importância de construir um ambiente educacional acessível em todas as suas dimensões. Sua atuação é um exemplo claro de como a educação inclusiva vai além da adaptação de métodos pedagógicos tradicionais, apontando a necessidade de repensar as práticas educacionais, considerando a diversidade dos alunos e a implementação de soluções inovadoras.

Um dos campos mais relevantes e emergentes para garantir essa inclusão é a Acessibilidade Digital, que se torna cada vez mais crucial à medida que a educação se torna mais dependente das tecnologias. As ferramentas digitais têm o potencial de eliminar barreiras físicas e sensoriais, permitindo que todos os alunos, independentemente de suas necessidades específicas, possam participar ativamente do processo de aprendizagem.

Neste contexto, a acessibilidade digital se conecta diretamente às práticas de ensino e às pesquisas realizadas por Camargo, uma vez que essas tecnologias podem ser usadas para criar materiais didáticos mais inclusivos e adaptados às diferentes necessidades dos estudantes. No próximo tópico, discutiremos como as tecnologias digitais podem ser aplicadas para garantir o acesso universal ao conhecimento, oferecendo novas possibilidades para a construção de um currículo acessível e para a superação das limitações impostas pela deficiência.

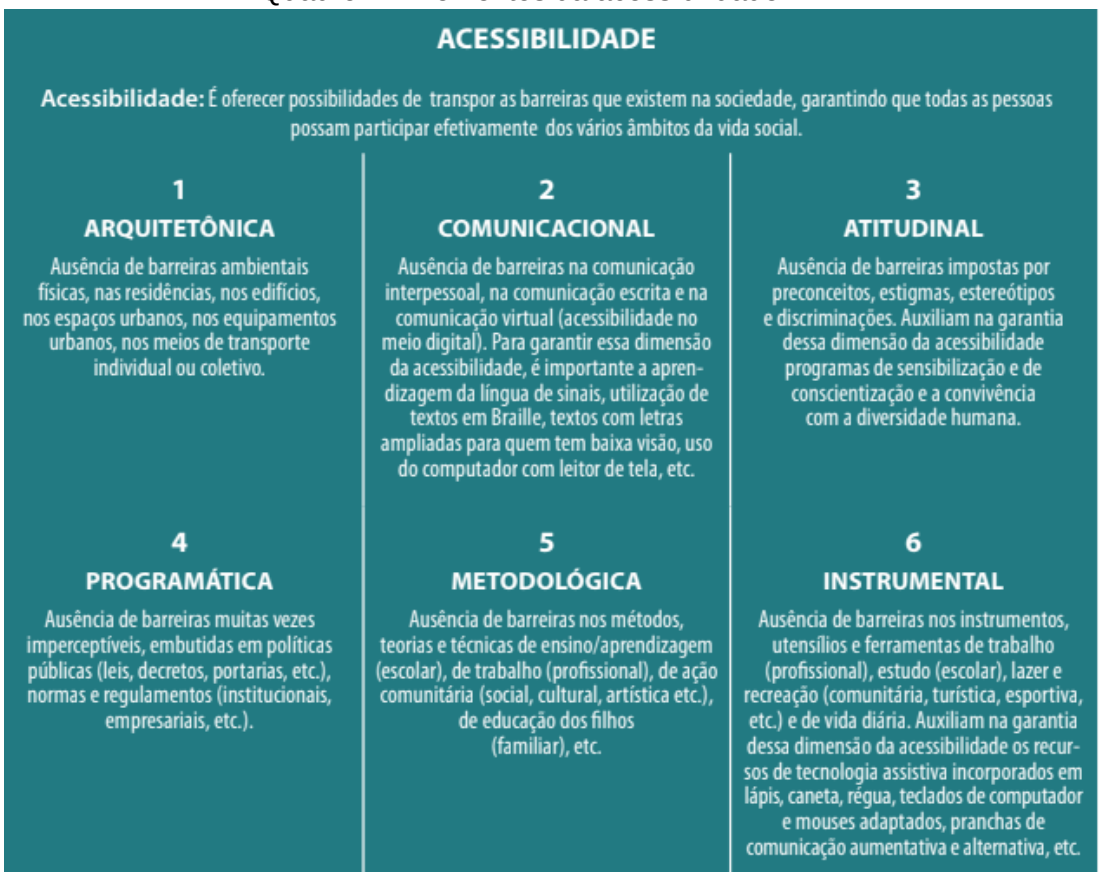
3. Acessibilidade Digital

Em 6 de julho de 2015, a Presidenta da República sancionou a Lei nº 13.146, também conhecida como Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência), ou simplesmente LBI. O Artigo 3º desta Lei estabelece que:

> I - acessibilidade: possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, transportes, informação e comunicação, inclusive seus sistemas e tecnologias, bem como de outros serviços e instalações abertos ao público, de uso público ou privados de uso coletivo, tanto na zona urbana como na rural, por pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida; [...]. (Brasil, 2015).

A acessibilidade vai além da simples adaptação de espaços físicos ou virtuais, abrangendo diversas áreas e dimensões. Trata-se de uma responsabilidade social projetar ambientes que garantam autonomia e dignidade a todos os cidadãos. No Quadro 3, são destacados elementos essenciais para a construção de uma acessibilidade inclusiva.

Quadro 4 - Elementos da acessibilidade



Fonte: Manual de Acessibilidade em Documentos Digitais (2017)

A LBI, institui em seu artigo 63, que:

> É obrigatória a acessibilidade nos sítios da internet mantidos por empresas com sede ou representação comercial no País ou por órgãos de governo, para uso da pessoa com deficiência, garantindo-lhe acesso às informações disponíveis, conforme as melhores práticas e diretrizes de acessibilidade adotadas internacionalmente (Brasil, 2015).

Nos próximos itens deste capítulo, exploraremos as diferenças entre acessibilidade digital e usabilidade, além de fornecer orientações para a criação e desenvolvimento de ambientes virtuais acessíveis.

3.1 Acessibilidade Digital e Usabilidade

Para compreender o objetivo desta pesquisa, que visa analisar a usabilidade de experimentos remotos após o desenvolvimento de acessibilidade digital, considerando o Desenho Universal para a Aprendizagem e as orientações de acessibilidade digital, é necessário distinguir os termos acessibilidade digital e usabilidade. Vechiato e Vidotti (2012) explicam que, no contexto digital, a usabilidade se refere à qualidade da interação entre os usuários e os ambientes digitais durante o uso. Por sua vez, a acessibilidade está relacionada ao fornecimento de elementos, recursos e serviços de informação que possam ser utilizados de maneira equitativa, alinhando-se aos princípios do Desenho Universal. Um exemplo disso é a diferença de usabilidade na navegação de um website, entre os usuários que utilizam o mouse e aqueles que dependem exclusivamente do teclado.

> Quem utiliza um mouse pode chegar com tranquilidade ao formulário se posicionando diretamente na edição das respostas do mesmo, mas quem utiliza apenas o teclado, tem, nesse caso, de pressionar a tecla TAB 32 vezes para chegar ao formulário. Nesse tipo de recurso, a navegação é sequencial, da esquerda para a direita e de cima para baixo. Mesmo que esses hiperlinks estejam distribuídos visualmente de forma harmônica pela página, se sua codificação for anterior ao formulário, este só se apresentará disponível ao usuário que navegue pelo teclado, depois de, sequencialmente, passar por todos os hiperlinks e a forma de fazê-lo é, como foi escrito, pressionando a tecla "TAB" 32 vezes. O formulário pode estar acessível, mas sua utilização é cansativa para tal pessoa. Dizemos, nesse caso, que a usabilidade dessa página não é boa, independentemente de sua acessibilidade (Queiroz, 2008).

É fundamental conceber a acessibilidade de maneira que a navegação seja clara, simples e permita que qualquer usuário aproveite plenamente os recursos oferecidos pelo website. No entanto, um site acessível não significa automaticamente

que ele seja usável. Se a navegação for carregada de informações desnecessárias ou for lenta, embora acessível, ela não será considerada prática ou eficiente. Seguir as normas de acessibilidade digital, abordadas no próximo item, é crucial, mas não garante, por si só, que o ambiente virtual seja usável. É necessário planejar e desenvolver um espaço que permita ao usuário agir de forma autônoma ao interagir com o meio digital. Dessa forma, o usuário terá acesso ao ambiente e será capaz de utilizá-lo com facilidade. Alinhar o Desenho Universal para a Aprendizagem com as diretrizes de acessibilidade digital fortalece a usabilidade do ambiente virtual, garantindo uma experiência mais inclusiva e eficiente.

3.2 WCAG e eMAG

O World Wide Web Consortium (W3C), composto por importantes empresas globais de tecnologia, criou o Web Accessibility Initiative (WAI) com o objetivo de tornar a Web acessível a todos. O WAI busca estabelecer recomendações para a criação de sites que possam ser utilizados por qualquer usuário, independentemente de suas limitações (Sonza et al., 2013). Em 1999, foi publicada a primeira versão do Web Content Accessibility Guidelines (WCAG 1.0), que visava orientar as melhores práticas de acessibilidade na web. Desde então, o WCAG passou por várias atualizações, com o intuito de aprimorar as diretrizes e adaptá-las às novas necessidades. A mais recente atualização ocorreu em 2021, com a versão WCAG 3.0.

> O objetivo das WCAG 3.0 e dos documentos de apoio é tornar os produtos digitais, incluindo web, ePub, PDF, aplicativos, aplicativos móveis e outras tecnologias emergentes mais acessíveis e utilizáveis para pessoas com deficiência. A intenção do WCAG 3.0 é atender a esse objetivo, oferecendo suporte a um conjunto mais amplo de necessidades do usuário, usando novas abordagens para testes e permitindo a manutenção mais frequente das diretrizes para acompanhar a aceleração das mudanças tecnológicas. A esperança é que o WCAG 3.0 torne significativamente mais fácil para iniciantes e especialistas criar produtos digitais acessíveis que atendam às necessidades de pessoas com deficiência. (W3C, 2021).

Em 2004, o Governo Federal, por meio do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, desenvolveu o Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico (eMAG), com base em um estudo que analisou 14 normas internacionais sobre acessibilidade digital, além das diretrizes e pontos de verificação do WAI/W3C, presentes no WCAG 1.0 (Brasil, 2014). A primeira versão do eMAG, a 1.4, foi elaborada pelo Departamento de Governo Eletrônico em parceria com a Organização

Não Governamental (ONG) Acessibilidade Brasil e foi disponibilizada em janeiro de 2005. Em dezembro do mesmo ano, foi lançada a versão eMAG 2.0. Assim como o WCAG, o eMAG passou por diversas revisões e atualizações, sendo a versão mais recente, a eMAG 3.1, disponibilizada em 2014, estabelecendo uma padronização específica para as necessidades do Brasil.

> As recomendações do eMAG permitem que a implementação da acessibilidade digital seja conduzida de forma padronizada, de fácil implementação, coerente com as necessidades brasileiras e em conformidade com os padrões internacionais. É importante ressaltar que o eMAG trata de uma versão especializada do documento internacional WCAG *(Web Content Accessibility Guidelines: Recomendações de Acessibilidade para Conteúdo Web)* voltado para o governo brasileiro, porém o eMAG não exclui qualquer boa prática de acessibilidade do WCAG. (Brasil, 2014, p. 07).

Para além de estudos de normas internacionais, existem documentos norteadores que constituem a legislação e que oferecem base para a manutenção e desenvolvimento do eMAG. No Quadro 5, listamos os principais documentos que asseguram a acessibilidade e a implementação do eMAG.

Quadro 5 - Principais documentos que norteiam a implementação do eMAG.

DOCUMENTO	DESCRIÇÃO
Comitê Brasileiro (CB-40) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)	Se dedica à normatização no campo de acessibilidade, atendendo aos preceitos de desenho universal. O Comitê possui diversas comissões, definindo normas de acessibilidade em todos os níveis, desde o espaço físico até o virtual.
Lei Nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000	Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências.
	Regulamenta as leis n° 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que

Decreto número 5296, de 2 de dezembro de 2004	estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas com deficiência, e dá outras providências
Portaria nº 3, de 7 de maio de 2007	Institucionalizou o eMAG no âmbito do sistema de Administração dos Recursos de Informação e Informática (SISP), tornando sua observância obrigatória nos sítios e portais do governo brasileiro.
Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (2007), de 30 de março de 2007	Elaborada pela Nações Unidas, define, em seu artigo 9°, a obrigatoriedade de promoção do acesso de pessoas com deficiência a novos sistemas e tecnologias da informação e comunicação, inclusive à Internet.
Decreto n° 6949, de 25 de agosto de 2009	Promulga a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, tornando-a um marco legal no Brasil.
Instrução Normativa MP/SLTI Nº04, de 12 de novembro de 2010	Dispõe sobre o processo de contratação de Soluções de Tecnologia da Informação pelos órgãos integrantes do Sistema de Administração dos Recursos de Informação e Informática - SISP do Poder Executivo Federal.
Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011 (Lei de Acesso à Informação)	Em seu artigo 8º, parágrafo 3º, inciso VIII preconiza que: “Os sítios de que trata o § 2º deverão, na forma de regulamento, atender, entre outros, aos seguintes requisitos: (…) adotar as medidas necessárias para garantir a acessibilidade de conteúdo para pessoas com deficiência”.
	Regulamentou a lei de acesso à informação, indicada no seu artigo 8º parágrafo 3º: “Os sítios na Internet dos órgãos e entidades

Decreto de nº 7724, de 16 de maio de 2012	deverão, em cumprimento às normas estabelecidas pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, (...)".

Fonte (adaptado de): eMAG versão 3.1 (2021)

O documento estabelece que, para garantir a acessibilidade digital em um site, é necessário seguir três etapas essenciais: Adotar os padrões da Web; cumprir as diretrizes e recomendações de acessibilidade; realizar a avaliação de acessibilidade.

A observância de cada uma dessas etapas contribuirá para tornar o ambiente online verdadeiramente acessível. No Quadro 6, apresentamos essas etapas juntamente com as respectivas indicações e suas justificativas.

Quadro 6 - Passos para construção do desenvolvimento de acessibilidade digital

Passo	Argumentação	Justificativa
Padrões Web	O código deve estar dentro dos padrões Web internacionais definidos pelo W3C.	Páginas que não possuem um código de acordo com os padrões do W3C apresentam comportamento imprevisível, e na maioria das vezes impedem ou pelo menos dificultam o acesso.
Recomendações de Acessibilidade	As recomendações de acessibilidade explicam como tornar o conteúdo Web acessível a todas as pessoas. A principal documentação nessa área é a WCAG.	As recomendações são destinadas aos criadores de conteúdo Web e aos programadores de ferramentas para criação de conteúdo. Tais recomendações visam resolver muitos dos problemas da camada de comportamento.
	É necessário testar o ambiente online após sua construção seguindo os dois primeiros passos,	A validação da acessibilidade garante maximizar os problemas de navegação pelo site. Ela é realizada em etapas (passos)

Avaliação de acessibilidade	para garantir sua acessibilidade.	utilizando validadores automáticos, validação manual e teste com usuário real. Sendo que após cada teste, os ajustes necessários devem ser feitos e testados novamente.

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de W3C (2021).

Dentro do terceiro passo, avaliação de acessibilidade, são sugeridas etapas (passos) para que a avaliação seja efetiva. São elas:

1. Validar os códigos do conteúdo HTML e das folhas de estilo;
2. Verificar o fluxo de leitura da página;
3. Realizar a validação automática de acessibilidade;
4. Realizar a validação manual;
5. Teste com usuários reais.

Ao considerar a acessibilidade digital sob a ótica de sua usabilidade, o alinhamento das orientações do WCAG e do eMAG com os princípios do DUA potencializa a criação de um ambiente virtual acessível, garantindo que qualquer pessoa possa utilizá-lo plenamente. Isso, por sua vez, contribui para a promoção da inclusão social. Esses recursos foram aplicados no desenvolvimento da acessibilidade digital para o laboratório remoto de Física, que será explorado no próximo item, no qual discutiremos a experimentação e o uso de experimentos remotos no Ensino de Física.

4. Experimentação e Experimento Remoto no Ensino de Física

No Ensino de Física, a abordagem tradicional frequentemente apresenta os conteúdos de maneira descontextualizada, priorizando a memorização de conceitos, fórmulas e a resolução de exercícios. Esse enfoque pode gerar desinteresse dos alunos pela disciplina e dificuldades na compreensão dos conteúdos abordados (Nascimento e Uibson, 2021). Diante desse cenário,

> O uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de ensinar física de modo significativo e consciente (Araújo e Abib, 2003, p176).

Destacamos que:

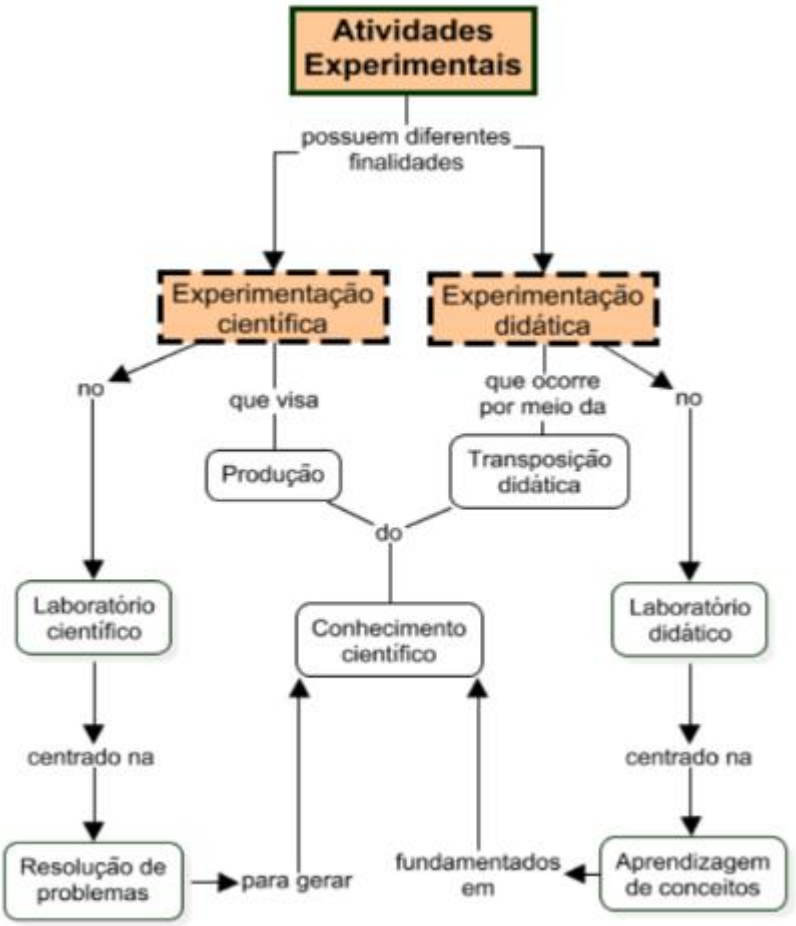
> As atividades experimentais apresentam um grande potencial para familiarizar os estudantes com os métodos da ciência, levar ao desenvolvimento do raciocínio lógico, facilitar a compreensão de conceitos abstratos, estabelecer relações entre o conteúdo das aulas teóricas e as evidências experimentais, entre muitos outros (Caetano, 2019, p94).

O que realmente significam os termos "experimento" e "experimentação"? São palavras semelhantes, mas representam o mesmo conceito? Lima e Teixeira (2011), em sua pesquisa intitulada "A epistemologia e a história do conceito experimento/experimentação e seu uso em artigos científicos sobre ensino das ciências", investigam a evolução histórica desses termos, com base em publicações científicas nacionais na área de Ensino de Ciências. A pesquisa revela que há uma diferença significativa na literatura quanto ao entendimento de experimento e experimentação, além das justificativas empregadas para usá-los no contexto do ensino de ciências. Também é destacada a grande diversidade nas abordagens desses conceitos, que vão desde estudos observacionais até investigações envolvendo a formulação e teste de hipóteses (Lima e Teixeira, 2011).

Os autores apontam que, na área de Ensino de Ciências, pesquisadores como Praia, Cachapuz e Gil-Perez (2002), além de Gonçalves e Marques (2006), discutem as distorções no uso do conceito de "experimento", especialmente quando ele é aplicado ao ensino de ciências, atribuindo-lhe o mesmo significado usado nas investigações científicas formais. Lima e Teixeira (2011) destacam a diferença no uso do termo "experimento/experimentação" entre os dois contextos, dependendo da finalidade a que se destinam. Para eles, a pesquisa experimental (experimentação

científica) tem como objetivo a geração de novos conhecimentos e a resolução de problemas, com potencial para produzir conhecimento científico. Já a experimentação no ensino de ciências (experimentação didática) utiliza os resultados das pesquisas experimentais, explorando conceitos já conhecidos pela comunidade científica, mas que são desconhecidos por um grupo de estudantes (Lima e Teixeira, 2011). Essas distinções estão ilustradas na Figura 1.

Figura 1 - As diferentes finalidades das atividades experimentais



Fonte: Dias et al. (2020, p361)

Ao compreendermos a distinção na aplicação dos termos experimento e experimentação, alinhamo-nos à posição de Lima e Teixeira (2011), que afirmam que, no contexto do ensino de ciências, "sem a rigidez do Método Científico, discutir experimento e experimentação implica – ou se destina – à formação de novas experiências" (Lima e Teixeira, 2011, p. 5). Nesse sentido, acreditamos que o uso da experimentação no ensino deve ser cuidadosamente planejado, levando em

consideração o conhecimento prévio dos alunos, o planejamento didático do professor e as condições reais de aprendizado. Caso contrário, "a experiência científica escolar acaba assumindo o sentido de fazer, sem saber o porquê e para quê" (Praia, Cachapuz, Gil-Perez, 2002, p. 258).

No estudo de Dias et al. (2020), podemos refletir sobre o uso das atividades experimentais em sala de aula. Na pesquisa intitulada "Uma reflexão sobre as diferentes abordagens pedagógicas e a finalidade das atividades experimentais no campo do ensino de ciências da natureza", cujo objetivo era discutir as diferentes concepções pedagógicas sobre o ensino experimental de ciências, focando em suas abordagens e finalidades (Dias et al., 2020, p. 349), foram analisados sete artigos, apresentados no quadro 7.

Quadro 7 - Informações sobre os artigos analisados para o desenvolvimento desse estudo sobre as concepções do Ensino Experimental de Ciências Naturais.

Autores	**Ano**	**Título do Artigo**
Borges	2002	Novos rumos para o laboratório escolar de ciências
Araújo e Abib	2003	Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades
Flores et al.	2009	El laboratorio en la enseñanza de las ciências: Una visión integral en este complejo ambiente de aprendizaje
Oliveira	2010	Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente
Zomperu e Laburu	2011	Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes Abordagens
Oliveira et al.	2012	Pesquisas brasileiras sobre a experimentação no ensino de Ciências e Biologia: diálogos com referenciais do conhecimento escolar
Moreno et al.	2017	Los trabajos prácticos de laboratorio en la enseñanza de las ciencias: tendências en revistas especializadas (2012-2016)

Fonte: Dias et al. (2020, p352-351)

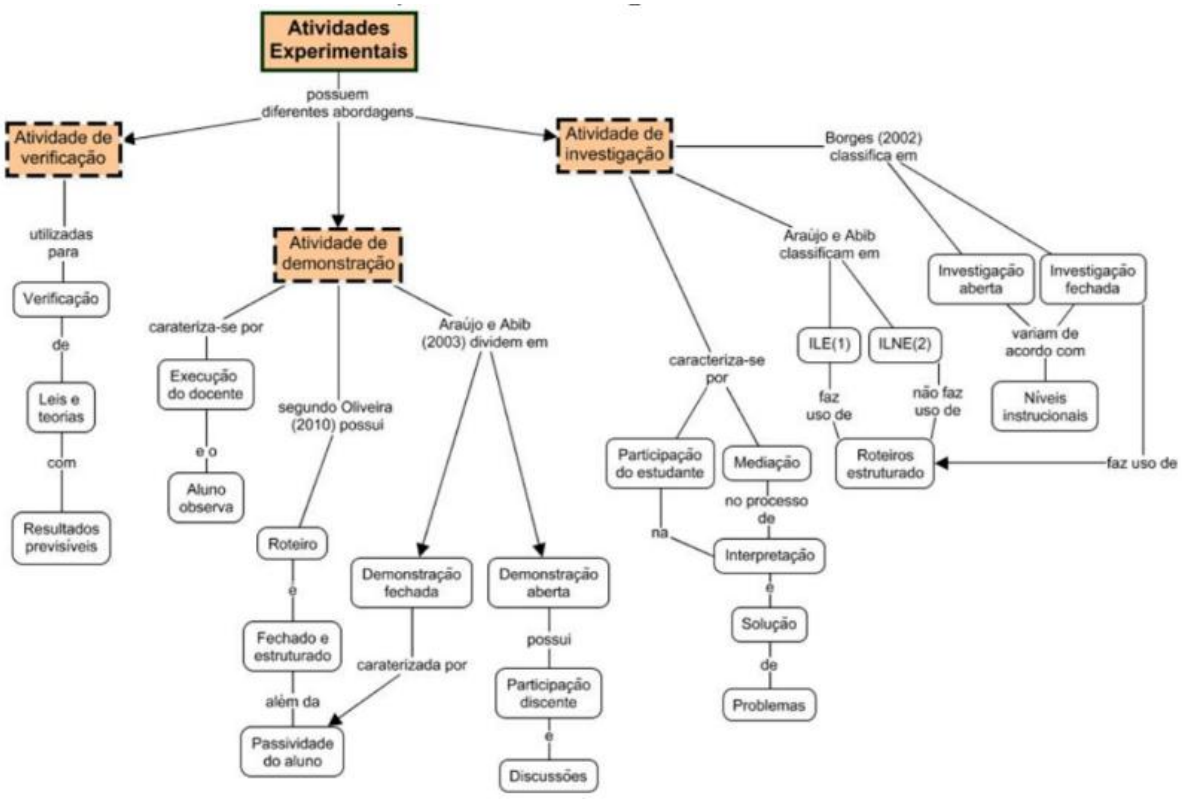
Na análise e comparação dos sete artigos, Dias et al. (2020) identificaram três abordagens distintas para as atividades experimentais, conforme ilustrado na Figura 2. São elas:

Atividades demonstrativas: Nessa abordagem, o professor realiza os procedimentos experimentais, enquanto os alunos apenas observam (Dias et al., 2020).

Atividades verificativas: Os alunos realizam os experimentos sob a orientação do professor, geralmente seguindo um roteiro predefinido e estruturado, com o objetivo de confirmar, de maneira prática, leis e teorias científicas (Dias et al., 2020).

Atividades investigativas: Nessa abordagem, os alunos têm a oportunidade de investigar um problema de forma experimental. Embora ainda sob a orientação do professor, os estudantes possuem maior autonomia na execução do experimento (Dias et al., 2020).

Figura 2 - Mapa conceitual sobre as abordagens das atividades experimentais de natureza didática segundo os argumentos apresentados nos artigos estudados.



Fonte: Fonte: Dias et al. (2020, p355)

O documento da BNCC enfatiza, na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a importância de os alunos realizarem experimentos, como pode ser observado no seguinte trecho:

> Os processos e práticas de investigação merecem também destaque especial nessa área. Portanto, a dimensão investigativa das Ciências da Natureza deve ser enfatizada no Ensino Médio, aproximando os estudantes dos procedimentos e instrumentos de investigação, tais como: identificar problemas, formular questões, identificar informações ou variáveis relevantes, propor e testar hipóteses, elaborar argumentos e explicações, escolher e utilizar instrumentos de medida, planejar e realizar atividades experimentais e pesquisas de campo, relatar, avaliar e comunicar conclusões e desenvolver ações de intervenção, a partir da análise de dados e informações sobre as temáticas da área. (Brasil, 2018, p. 550).

Com a ressalva de que, para ser eficaz, o uso de atividades experimentais, como destaca Caetano (2019), deve ser cuidadosamente planejado e fundamentado tanto pedagógica quanto epistemologicamente. Nas últimas décadas, diversas propostas envolvendo atividades experimentais têm surgido como alternativas para superar as dificuldades no ensino de Física, como a falta de infraestrutura, a escassez de materiais (muitos dos quais são caros, como instrumentos de medição) e a insuficiência de preparo dos professores para utilizar adequadamente os laboratórios (Caetano, 2019).

Além disso, há estudos no campo educacional que exploram o uso de experimentos controlados remotamente, por meio da Internet (Oliveira et al., 2009; Caetano, 2019), permitindo a manipulação à distância de materiais reais para a realização de práticas experimentais (Canu e Duque, 2015). Nesse contexto, o experimento operado remotamente é montado em um local físico, como é descrito por Bencomo (2004):

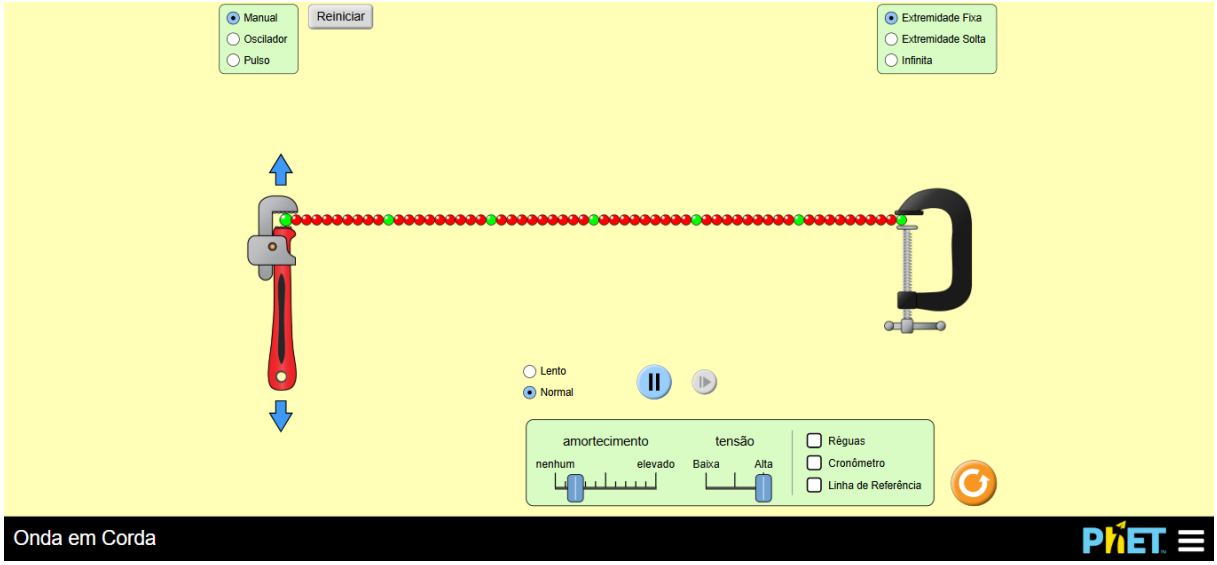
> Através da Internet, o laboratório on-line [remoto] poderia oferecer aos professores mais flexibilidade para preparar tarefas para seus alunos que exijam alguma experimentação com aparato real. Além disso, um laboratório na Internet permite que os equipamentos sejam melhor utilizados tanto pelos usuários locais como remotos, uma vez que podem realizarem o acesso nos laboratórios de qualquer lugar com conexão à Internet. Esta partilha de recursos não só reduz o custo [financeiro] da experiência por aluno, mas o equipamento também será disponibilizado a mais alunos, à medida que as restrições de tempo e espaço normalmente associadas a um laboratório tradicional podem ser eliminadas. Para proporcionar aos utilizadores remotos uma experiência laboratorial tão próxima da obtida pelos utilizadores locais, são realizadas experiências baseado em sistemas reais, em vez de simulações de computador ou realidade virtual (Bencomo, 2004, p128 – tradução própria)

O uso de simulações virtuais em aulas também tem sido amplamente estudado (Medeiros e Medeiros, 2002; Leal, Silva e Meneses, 2020), sendo frequentemente confundido com a experimentação remota. Medeiros e Medeiros (2002) fornecem exemplos detalhados do que caracteriza uma simulação:

> Simulações computacionais vão além das simples animações. Elas englobam uma vasta classe de tecnologias, do vídeo à realidade virtual (...) o programa é capaz de fornecer não apenas uma animação isolada de um fenômeno em causa; mas, uma vasta gama de animações alternativas selecionadas através do input de parâmetros pelo estudante. Desta forma, por exemplo, para ilustrar o movimento de um projétil, uma simulação computacional permite ao estudante a escolha de parâmetros relevantes tais como a velocidade inicial e o ângulo de tiro, para os quais o programa fornece as respectivas animações geradas a partir de grandes bancos de dados. Evidentemente, qualquer simulação está baseada em um modelo de uma situação real, modelo este matematizado e processado pelo computador a fim de fornecer animações de uma realidade virtual. A construção, portanto, de uma simulação computacional pressupõe, necessariamente, a existência de um modelo que lhe dá suporte e que lhe confere significado (Medeiros e Medeiros, 2002, p79).

Comumente utilizado em aulas de Ciências da Natureza, o PhET Simulações Interativas, desenvolvido pela Universidade do Colorado, é um exemplo de simulação, cujo funcionamento é detalhado por Medeiros e Medeiros (2002). Para distinguir visualmente a experimentação remota da simulação virtual, apresentamos a Figura 3, que exibe uma simulação disponível no site do PhET, e a Figura 4, que ilustra um experimento disponível no LabRemoto da UNIFEI. Tomamos o cuidado de garantir que tanto a simulação virtual quanto o experimento remoto abordassem o mesmo conteúdo, de modo que a comparação entre as imagens fosse pertinente e eficaz.

Figura 3 - Simulação Onda em Corda, disponível no Phet



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/wave-on-a-string

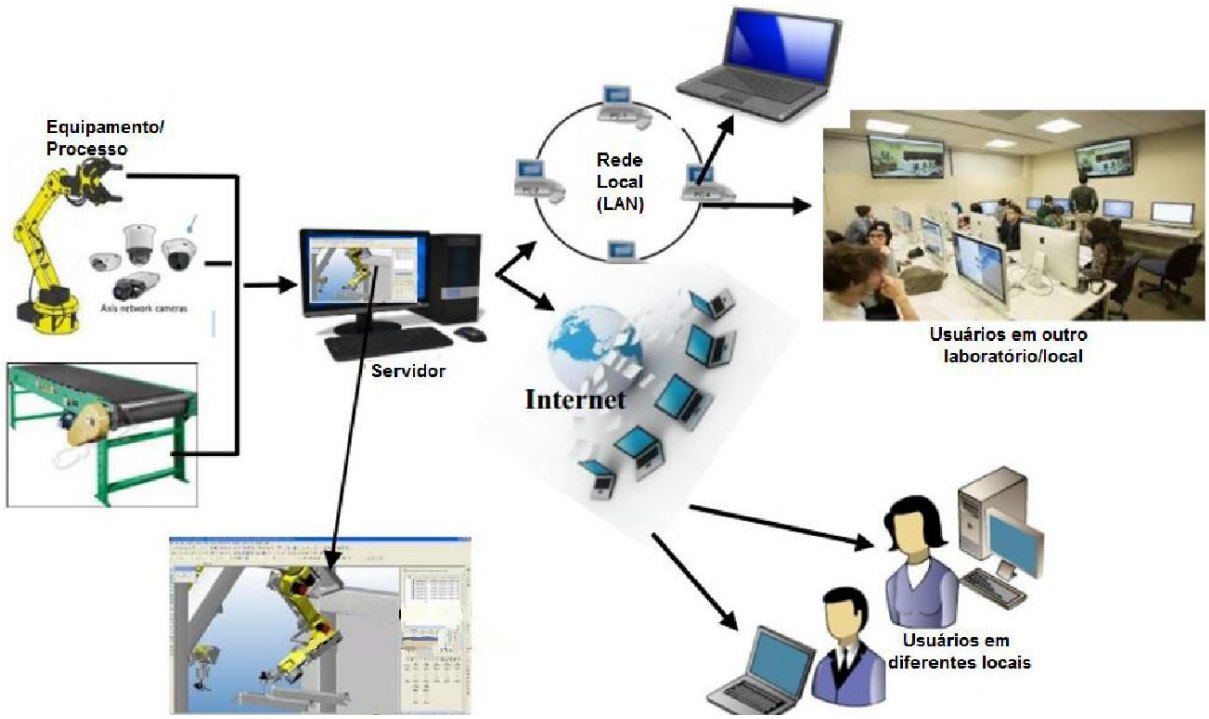
Figura 4 - Experimento Ondas Estacionárias, disponível no Laboratório Remoto de Física

Fonte: https://labremoto.unifei.edu.br/src/experimentos.php

As Figuras 3 e 4 abordam o mesmo conteúdo da disciplina de Física, especificamente sobre ondas estacionárias, utilizando aparatos distintos: a simulação virtual e o experimento real. No entanto, ambas se valem do mesmo meio, a internet. Já discutimos o funcionamento da simulação virtual, mas como ocorre o funcionamento de um laboratório remoto? A estrutura de um laboratório remoto é

composta basicamente por um espaço físico, instrumentos de medição e equipamentos, pessoas (responsáveis pela gestão do espaço e dos experimentos, bem como aquelas que acessam os recursos remotamente), além de hardware, software e a internet, como ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Visão Geral da Arquitetura de um Laboratório Remoto



Fonte: Mokhtar, Mikhail e Seong-Joo (2014, apud. Rubim, 2016, p25)

No próximo item, apresentaremos o LabRemoto, a plataforma que será utilizada nesta pesquisa, explorando suas possibilidades de aplicação e detalhando o funcionamento da sua estrutura operacional para a experimentação remota.

4.1 Laboratório Remoto de Física

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi implementada a acessibilidade digital no site do Laboratório Remoto de Física da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), identificado neste trabalho como LabRemoto. O layout do site pode ser visualizado na Figura 6. A instalação física do laboratório (Figura 7) encontra-se no Instituto de Física e Química (IFQ) da UNIFEI. O site oferece experimentos reais que podem ser operados remotamente, por meio da internet, permitindo o acesso a partir

de qualquer local com conexão à rede (Laboratório Remoto de Física, 2020). O site opera há mais de 10 anos, considerando que:

> Seu desenvolvimento teve início no ano de 2012, mas seu crescimento mais significativo passou a ocorrer apenas a partir de 2015 com a inauguração das novas instalações do Instituto de Física e Química – IFQ. Exceto por algum impedimento de ordem técnica, como manutenção de rotina, os experimentos do laboratório podem ser acessados a qualquer momento e de forma totalmente gratuita. (Caetano, 2019, p.95).

Figura 6 - Página Inicial do LabRemoto

Fonte: https://labremoto.unifei.edu.br/src/welcome.php (2020). Acesso em 2020

Figura 7 - Instalação Física do LabRemoto

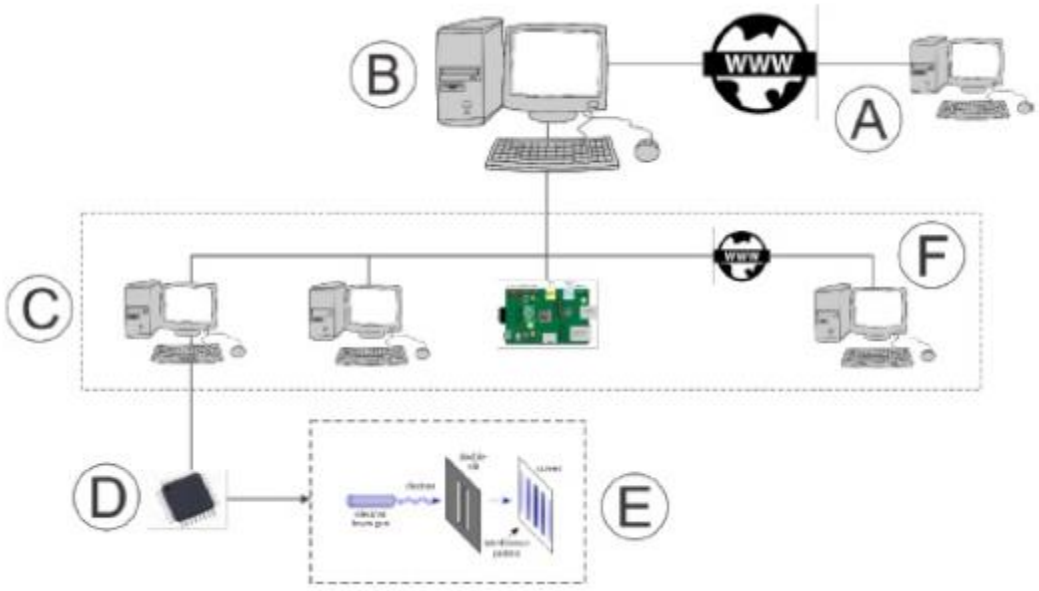
Fonte: https://labs-ifq.unifei.edu.br/ (2020). Acesso em: 2025

É relevante destacarmos que,

> (...) para a construção dos experimentos do laboratório, aproveitamos todos os tipos de materiais: equipamentos que não são mais utilizados nos laboratórios, partes de computadores danificados e descartados, fios descartados após a reforma de redes da universidade, lixo eletrônico, entre outros. Nos esforçamos para manter o custo do projeto reduzido e tentamos mostrar que é possível desenvolver materiais didáticos de laboratório com qualidade com pouco investimento. Assim, espera-se contribuir para a viabilidade, não só orçamentária, mas prática e operacional do projeto (Laboratório Remoto de Física, 2020).

Sobre seu funcionamento e operação, e os componentes que atuam na execução da experimentação de forma remota, é detalhado na Figura 8.

Figura 8 - Esquema da Estrutura do Laboratório Remoto de Física



Fonte: Caetano (2019).

O que cada letra representa:

A, o usuário;

B, servidor central;

C, servidor do experimento escolhido;

D, microcontrolador do experimento;

E, eletrônica da montagem do experimento;

F, servidor dedicado a um experimento, que não está no mesmo local físico onde os demais da mesma região mostrada na Figura 8.

A explicação de forma breve da parte do acionamento do experimento remotamente é

> Quando um experimento é selecionado através do site, o computador central (servidor B) envia ao cliente a página correspondente, a qual realiza automaticamente a conexão com o servidor do experimento escolhido (qualquer um dos computadores na região C). Os computadores na região C executam programas escritos em *Python* que possuem duas grandes funções: a) obter a imagem das câmeras, codificá-las e transmiti-las ao cliente. Isso é chamado *streaming* de vídeo e é feito de forma direta. Ou seja, os dados das câmeras não passam pelo servidor central; b) conectar-se com o microcontrolador do experimento através de uma porta USB (representado pela letra D no diagrama, normalmente um chip da família ATMega, o mesmo utilizado nas placas Arduino), permitindo que o cliente envie e receba comandos através da interface do experimento. (Caetano, 2019).

No site do LabRemoto, temos acesso às páginas:

- Home – Página de bem-vindo, com descrição do laboratório;
- Apresentação – Possui a apresentação, breve histórico, filosofia e breve comentário sobre a técnica utilizada no LabRemoto;
- Login – Local para o usuário fazer o login com seu cadastro;
- Criar cadastro – Destinada para criação de cadastro do usuário;
- Experimentos – Contém os experimentos disponíveis para acesso e utilização, que são:
  - Trilho de ar;
  - Ondas estacionárias;
  - Óptica física;
  - Curva de luz;
  - Termometria;
  - Anel de Thompson;
  - Energia solar;
  - Processos radioativos;
  - Hidrostática;
  - Acústica;
  - Titulação;
- Agenda – Para fazer agendamento para utilizar o experimento (ainda não disponível);

- Sala virtual - Ambientes de apoio à aulas baseadas em metodologias ativas;
- Materiais – Disponibiliza matérias para auxiliar o uso do experimento;
- Galeria – Galeria de fotos dos experimentos;
- Links externos – Possui alguns endereços/ferramentas uteis para análise dos dados coletados durante a realização do experimento;
- Equipe – Consta o nome e função dos membros da equipe do LaRemoto;
- Contato – Nome e meios de contato do coordenador do LabRemoto;
- Bug report – Local para reportar informações sobre problemas com a página;
- Versões – As versões da página desde o início.

Novos experimentos estão sendo constantemente desenvolvidos, testados e incorporados ao LabRemoto, juntamente com a criação de um novo site para hospedar a plataforma. As reflexões provenientes das discussões realizadas ao longo desta pesquisa, focadas na acessibilidade digital e na usabilidade do LabRemoto, contribuirão de forma significativa para o novo site em desenvolvimento, uma vez que ambos estão sendo projetados e implementados simultaneamente.

No próximo capítulo, abordaremos o percurso metodológico, com ênfase no experimento "Trilho de Ar", no qual foi implementada a acessibilidade digital.

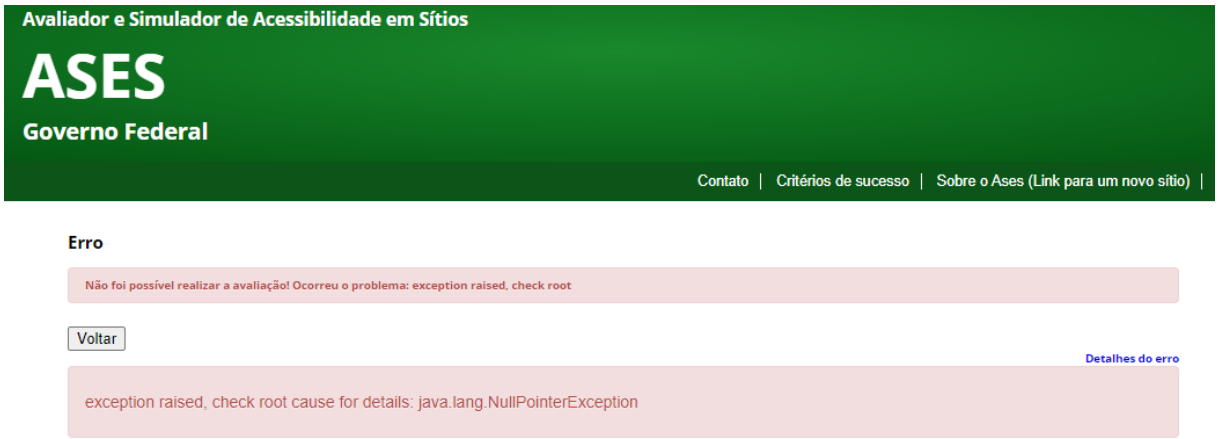
5. Percurso Metodológico

Esta pesquisa foi orientada por uma abordagem qualitativa, pois, conforme Bogdan e Biklen (1982, apud Lüdke; André, 1986, p. 13), busca a obtenção de dados descritivos a partir do contato direto do pesquisador com a situação em estudo. Esse tipo de abordagem prioriza o processo sobre o produto, preocupando-se em retratar as perspectivas dos participantes.

Em consonância com os objetivos estabelecidos, o objetivo geral desta pesquisa é analisar a usabilidade de experimentos remotos após a implementação da acessibilidade digital, considerando o Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) e as diretrizes de acessibilidade digital. Já os objetivos específicos são: (1) caracterizar a importância dos experimentos remotos para o ensino de Física na perspectiva inclusiva, com base no DUA; e (2) desenvolver e implementar a acessibilidade digital no site do laboratório remoto e em um experimento do acervo. Para isso, foi realizada a acessibilidade digital no site do LabRemoto e em um experimento remoto específico, o Trilho de Ar.

Inicialmente, para validar a acessibilidade digital, foi utilizado o teste automático na ferramenta Avaliador e Simulado de Acessibilidade em Sítios (ASES), desenvolvida pelo Governo do Brasil. No entanto, ao validar a página do experimento Trilho de Ar, foi detectado um erro de validação, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Mensagem de Erro do Validador ASES.



Fonte: https://asesweb.governoeletronico.gov.br/avaliar

Para a validação da acessibilidade digital, foi utilizado o validador automático AccessMonitor, desenvolvido pelo Governo de Portugal, que verifica a conformidade com as recomendações do WCAG. Esta ferramenta é responsável por analisar a estrutura e a semântica do código do site (Lomônaco Júnior, 2021).

Como esta pesquisa tem como objetivo analisar a usabilidade após o desenvolvimento de acessibilidade digital, foram realizados testes com usuários reais. Durante esses testes, foram identificados e implementados os aprimoramentos necessários para garantir a validação do ambiente virtual. A coleta de dados seguiu um método qualitativo, sendo registrada por meio de observações, diálogos com os usuários, e um diário de bordo, complementado por gravações de áudio e de tela no notebook.

A produção de dados desta pesquisa foi organizada conforme as diretrizes do WCAG e do eMAG, sendo dividida em cinco etapas.

Parte 1: Inicialmente, realizamos um teste nas páginas do site como estão atualmente acessíveis, utilizando o validador automático. A análise dos dados obtidos forneceu subsídios para a aplicação das recomendações, com base nos padrões do WCAG e nas diretrizes do DUA. Este passo foi fundamental para compreendermos a situação atual da acessibilidade do site, antes de implementar as melhorias necessárias.

Parte 2: Em seguida, aplicamos as recomendações de acessibilidade digital alinhadas com os princípios do DUA. Após a implementação dessas recomendações, realizamos um novo teste utilizando o mesmo validador automático. Este procedimento permitiu avaliar as melhorias e os avanços na acessibilidade do LabRemoto, observando a eficácia das intervenções realizadas.

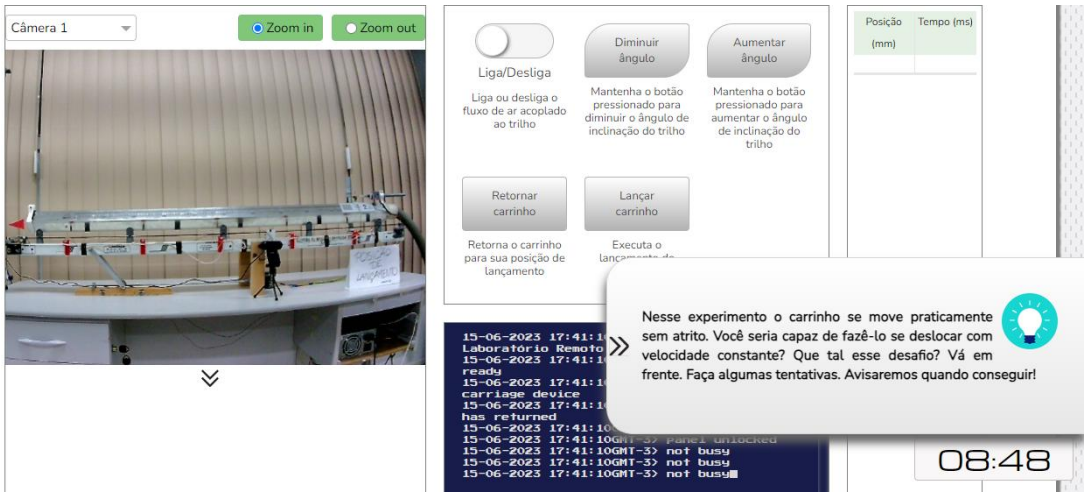
Parte 3: Considerando que alguns elementos podem não ser detectados pelo validador automático, realizamos uma validação manual, conforme recomendado. Este processo assegura que, além da acessibilidade, a usabilidade do site também seja garantida, proporcionando uma experiência mais fluida e eficiente para os usuários.

Parte 4: Após as validações automáticas e manuais, realizamos testes com usuários reais para avaliar a usabilidade do ambiente virtual. Esses testes são essenciais para confirmar se a acessibilidade digital foi efetivamente integrada ao site e se os usuários conseguem interagir com o LabRemoto de maneira intuitiva e satisfatória.

Parte 5: Finalmente, após o teste com usuários reais, realizamos a terceira e última validação automática. Esta etapa envolveu uma nova coleta de dados, permitindo uma análise comparativa dos resultados das validações e testes realizados ao longo do processo, a fim de avaliar a eficácia global das intervenções.

A implementação da acessibilidade digital foi aplicada especificamente no experimento Trilho de Ar, que explora conceitos de cinemática, como movimento retilíneo uniforme e uniformemente variável, comumente abordados nas disciplinas de mecânica. A escolha desse experimento foi motivada pelo seu alto índice de acessos no site. Na Figura 10, é possível visualizar o layout da interface web do experimento, com a imagem capturada pela Câmera 1, que oferece uma visão geral do experimento, mostrando o carrinho em movimento pelo trilho de ar. Já na Figura 11, a Câmera 2 foca em um instrumento de medição utilizado para monitorar o ângulo de inclinação do trilho de ar, o qual pode ser ajustado pelo usuário através dos controles disponíveis na interface.

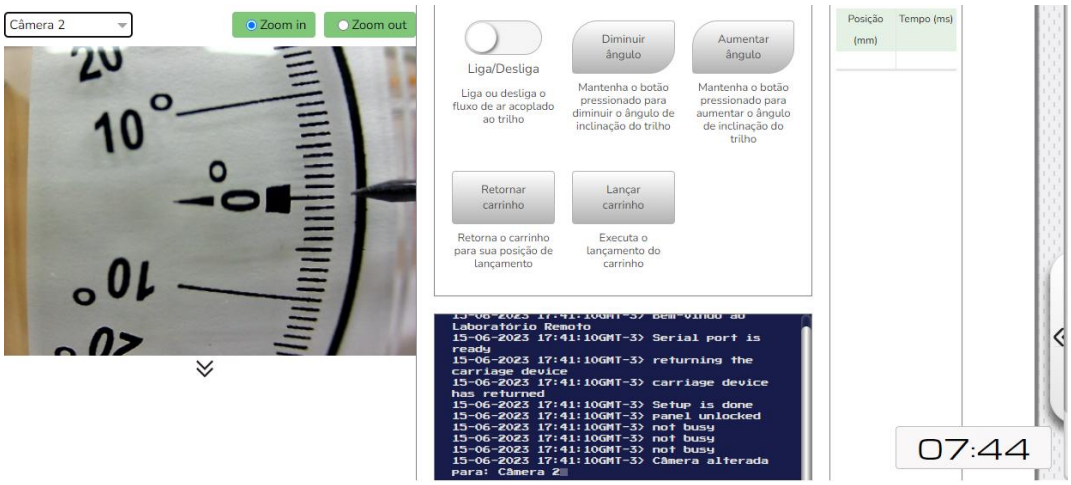
Figura 10 - Experimento Trilho de Ar, com a câmera focada no experimento.



FONTE: https://labremoto.unifei.edu.br/src/trilho-de-ar.php (2020).

Ao acessar o experimento, o usuário interage remotamente com o ambiente, dispondo de diversas opções de comando. Quando o carrinho é lançado, dados sobre a posição (mm) e o tempo (ms) são registrados e exibidos em uma tabela localizada no lado direito da interface, a qual pode ser visualizada nas figuras 10 e 11.

Figura 11 - Experimento Trilho de Ar, com a câmera focada no ângulo de inclinação.



Fonte: https://labremoto.unifei.edu.br/src/trilho-de-ar.php (2020).

Durante a interação com o experimento, questões relacionadas ao fenômeno em estudo surgem na tela, podendo ser respondidas ou deixadas em recuo para consideração posterior. Para garantir o acesso democrático e evitar que um único usuário permaneça conectado ao experimento por longos períodos, as sessões foram limitadas a 10 minutos, embora esse tempo possa ser estendido para até uma hora mediante agendamento prévio.

Para a análise qualitativa dos relatórios gerados pela ferramenta de validação, os dados foram organizados e tabulados a cada teste e validação, com o objetivo de minimizar perdas e garantir a consistência das informações. Os resultados de cada relatório foram comparados para avaliar o progresso na implementação da acessibilidade digital. O teste com um usuário real foi conduzido por uma pessoa com deficiência visual, estudante do curso de Sistemas de Informação da UNIFEI, seguindo o Checklist de Acessibilidade Manual para Deficientes Visuais (Brasil, 2010), disponibilizado pelo e-MAG, a fim de garantir que as soluções implementadas atendam às necessidades de acessibilidade de forma eficaz.

Visando um aprofundamento teórico nas discussões dos dados, em conformidade com nossos objetivos, fizemos uma reflexão mais aprofundada de três eixos de análise:

1º Eixo - Evolução da acessibilidade digital em ambientes de ensino remoto:

Exploramos como o processo de validação e ajustes contínuos, utilizando validadores automáticos, validação manual e testes com usuários reais, podem melhorar a acessibilidade digital em plataformas de ensino remoto. Essa categoria envolve uma análise detalhada das diferentes fases de implementação da acessibilidade, destacando as boas práticas e as dificuldades encontradas no processo. Com foco na comparação entre as páginas analisadas (p1, p2 e p3) e a aplicação dos princípios do DUA para garantir a acessibilidade em diferentes contextos de aprendizagem. Também realizamos uma comparação com outras pesquisas que se propuseram a analisar a acessibilidade digital de sites e utilizaram o mesmo validador automático que usamos nesta pesquisa, o accessMonitor.

2º Eixo - Usabilidade e tecnologias assistivas em ambientes de aprendizagem virtual:

Aprofundaremos na importância da usabilidade no design de interfaces de aprendizado remoto, considerando a utilização de tecnologias assistivas, como leitores de tela, para garantir a autonomia dos usuários com deficiência visual. Essa análise investigou como a adaptação do código HTML, o feedback de usuário real, e a interação com tecnologias assistivas influenciam a experiência de navegação e a eficácia do ambiente virtual de aprendizagem.

3º Eixo - Integração dos princípios DUA nas melhorias de acessibilidade e usabilidade:

Exploramos a aplicação dos princípios do DUA, e utilização das recomendações do WCAG, no processo de implementação de melhorias de acessibilidade e usabilidade. Essa análise pôde investigar como o DUA foi integrado nas decisões de design, e alinhado ao WCAG. Analisamos como essas decisões impactam a experiência do usuário final, com ênfase na inclusão de estudantes com deficiências e na criação de um ambiente mais equitativo para todos os aprendizes.

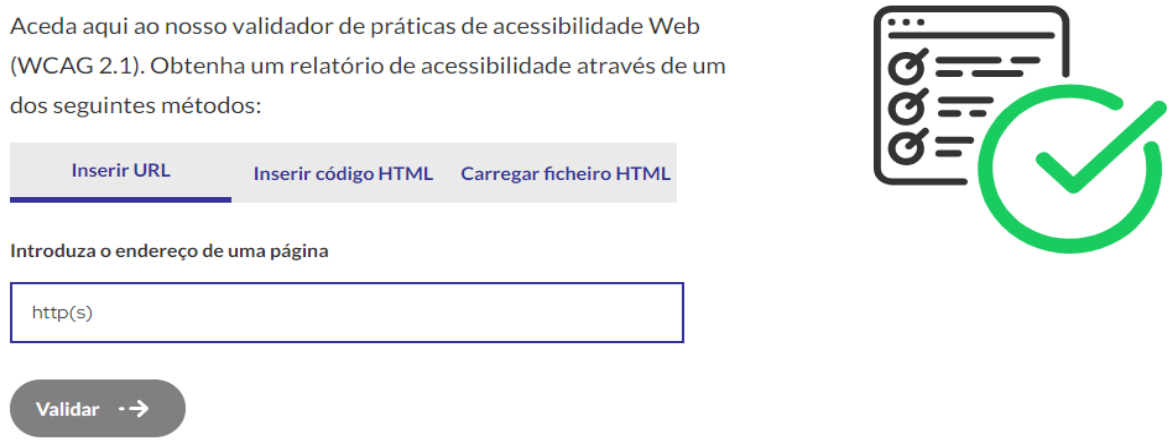
No próximo capítulo, apresentaremos os resultados e análises das 5 partes de validações realizadas e a discussão aprofundada dos três eixos apresentados neste capítulo.

6. Resultados e Análises

Nos resultados da validação automática, realizada com o AccessMonitor, foi possível identificar os pontos que precisavam ser aprimorados no site do LabRemoto, especificamente em relação à sua estrutura e semântica. O relatório gerado pelo validador fornece esses apontamentos de forma detalhada. O AccessMonitor segue os três níveis de prioridade estabelecidos pela WCAG para classificar os problemas de acessibilidade, o que possibilita uma abordagem focada na correção das questões mais críticas primeiro.

- A – O nível A indica baixo nível de acessibilidade. O nível A não garante um site acessível, ou seja, quanto mais pontos apresentados de nível A maior serão os impeditivos para o acesso (WCAG, 2014);
- AA – O nível AA indica um nível alto de critérios de acessibilidade, ou seja, quanto mais pontos apresentados de nível AA menor serão os impeditivos para o acesso. O nível AA garante que o site apresente pontos parciais de acessibilidade (WCAG, 2014);
- AAA – O nível AAA indica quantos pontos de refinamento ou melhoria o site apresenta, ou seja, quanto menor o nível de pontos AAA melhor serão os critérios de acessibilidade (WCAG, 2014).

Figura 12 - Layout do site do validador AccessMonitor com o método inserir URL selecionado



Fonte: https://accessmonitor.acessibilidade.gov.pt/ (2023).

A utilização do AccessMonitor é bastante intuitiva: basta inserir o link da página que se deseja testar (Figura 12), e o sistema gera uma pontuação que varia de 0 a

10. Uma pontuação de 0 indica a menor acessibilidade digital do site, enquanto a nota 10 reflete a máxima acessibilidade alcançada.

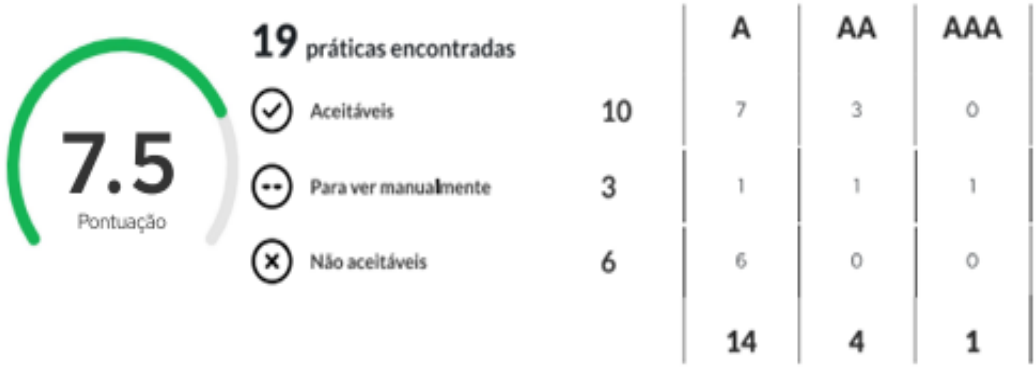
Ao validar o link, o programa gera um resumo com os dados da página validada, incluindo a nota atribuída, as práticas identificadas e seus respectivos níveis de prioridade, além de fornecer uma avaliação detalhada de cada uma delas.

As páginas selecionadas para validação foram: Página inicial (Bem-vindo), Página do experimento (pois é essencial para que o usuário acesse o experimento) e Página do experimento Trilho de Ar. Identificaremos as páginas com a sigla "P" seguida de numeração, da seguinte maneira: Página inicial (P1), Página do experimento (P2) e Página Trilho de Ar (P3). A análise será conduzida conforme as seções desenvolvidas no Capítulo 5, e os resultados serão apresentados neste capítulo.

Parte 1: Primeira Validação Automática

Nas Figuras 13, 14 e 15, observamos a nota atribuída e as práticas encontradas elencadas com os níveis de prioridade para cada página na qual foi realizada a validação automática, utilizando o validador Accessmonitor.

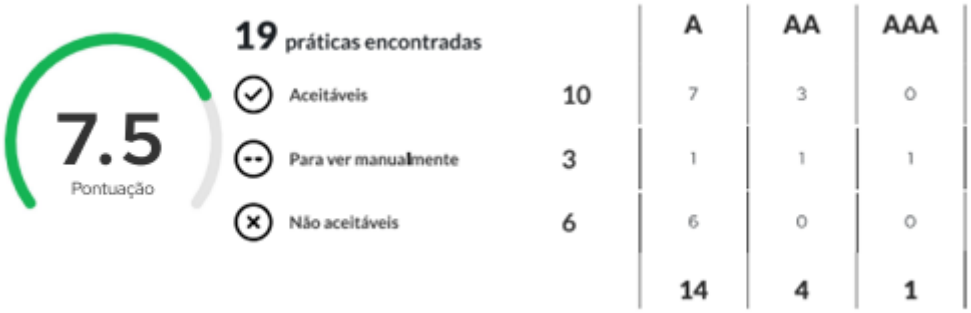
Figura 13 - Amostra do Relatório da Primeira Validação Automática da Página Inicial



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Accessmonitor.

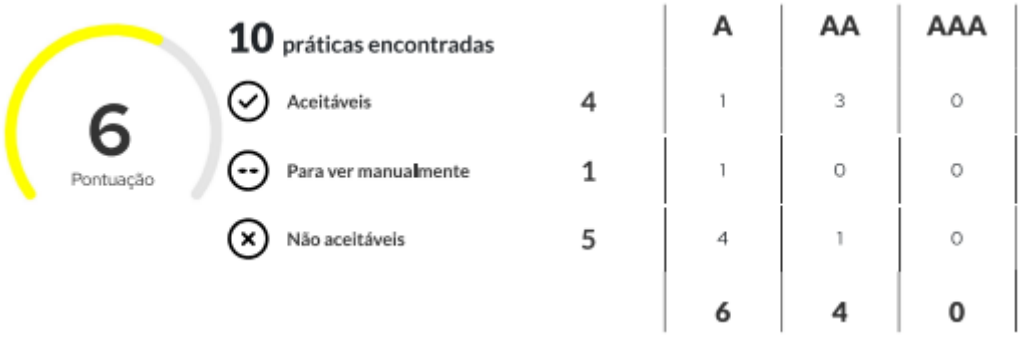
As notas atribuídas à Página Inicial (P1) e à Página Experimento (P2) foram idênticas, ambas recebendo 7,5 (sete e meio). Além disso, cada uma apresentou 19 (dezenove) práticas encontradas. Esses valores, tanto em nota quanto em número de práticas, foram superiores aos da Página Trilho de Ar (P3), que obteve nota 6,0 (seis) e registrou 10 (dez) práticas.

Figura 14 - Amostra do Relatório da Primeira Validação Automática da Página Experimentos



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Accessmonitor.

Figura 15 - Amostra do Relatório da Primeira Validação Automática Página Trilho de Ar



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Accessmonitor.

A similaridade nos resultados entre P1 e P2 era esperada, pois seus códigos HTML são semelhantes. Ao analisarmos os relatórios de avaliação gerado para essas duas páginas, mesmo a nota e número de práticas encontradas, sendo iguais, observamos algumas distinções, conforme podemos observar no Quadro 8.

Quadro 8 - Descrição das Práticas Encontradas com o nível de prioridade de P1 e P2

P1		**P2**	
Descrição da Prática Encontrada	**Nível de Prioridade**	**Discrição da Prática Encontrada**	**Nível de Prioridade**
Encontrei 6 imagens na página que não tem o necessário equivalente alternativo em texto.	A	Encontrei 7 imagens na página que não tem o necessário equivalente alternativo em texto.	A

Constatei que a primeira hiperligação da página não permite saltar diretamente para a área do conteúdo principal.	A	Constatei que a primeira hiperligação da página não permite saltar diretamente para a área do conteúdo principal.	A
Constatei que a página não tem cabeçalhos.	A	Constatei que a página não tem cabeçalhos.	A
Identifiquei 1 formulário sem o botão para submeter os dados ao servidor.	A	Identifiquei 1 formulário sem o botão para submeter os dados ao servidor.	A
Encontrei 1 elemento <iframe> sem title.	A	Encontrei 1 elemento <iframe> sem title.	A
Identifiquei 19 regras CSS em que não se identifica a cor da letra ou a cor do fundo.	AA	Identifiquei 2 regras CSS em que não se identifica a cor da letra ou a cor do fundo.	AA
Perguntei ao avaliador HTML do W3Ce constatei que há 5 erros de HTML.	A	Perguntei ao avaliador HTML do W3Ce constatei que há 5 erros de HTML.	A
Constatei que não há elementos obsoletos usados para controlo visual da apresentação.	A	Constatei que não há elementos obsoletos usados para controlo visual da apresentação.	A
Constatei que o atributo lang se encontra em falta.	A	Constatei que o atributo lang se encontra em falta.	A
Encontrei 1 título na página e ele parece-me correto.	A	Encontrei 1 título na página e ele parece-me correto.	A
Verifiquei que todos os atributos aria estão de acordo com a especificação ARIA.	A	Verifiquei que todos os atributos aria estão de acordo com a especificação ARIA.	A
Não encontrei nenhum elemento com o atributo aria-hidden que tenha conteúdo focável.	A	Não encontrei nenhum elemento com o atributo aria-hidden que tenha conteúdo focável.	A
Não encontrei elementos marcados como decorativos que tenham sido expostos a tecnologia de apoio.	A	Não encontrei elementos marcados como decorativos que tenham sido expostos a tecnologia de apoio.	A
Constatei que todos os elementos com um papel semântico que confere aos seus descendentes um papel decorativo, não tem descendentes focáveis.	A	Constatei que todos os elementos com um papel semântico que confere aos seus descendentes um papel decorativo, não tem descendentes focáveis.	A

Constatei que nesta página não há atributos id repetidos.	A	Constatei que nesta página não há atributos id repetidos.	A
Verifiquei que todas as combinações de cor têm uma relação de contraste superior ao rácio de contraste otimizado sugerido pelas WCAG, ou seja 4,5 para 1 para texto com letra grande e 7 para 1 para texto com letra normal.	AAA	Verifiquei que todas as combinações de cor têm uma relação de contraste superior ao rácio de contraste otimizado sugerido pelas WCAG, ou seja 4,5 para 1 para texto com letra grande e 7 para 1 para texto com letra normal.	AAA
Encontrei 1 elemento com a semântica de banner.	AA	Encontrei 1 elemento com a semântica de banner.	AA
Encontrei 1 elemento com a semântica de contentinfo.	AA	Encontrei 1 elemento com a semântica de contentinfo.	AA
Encontrei 1 elemento com a semântica main.	AAA	Encontrei 1 elemento com a semântica main.	AA

Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado de Accessmonitor.

Observamos que algumas práticas encontradas nas páginas P1 e P2 estão em conformidade com as recomendações, como o fato de não haver elementos obsoletos utilizados para o controle visual da apresentação, e o título da página ter sido corretamente identificado pelo validador.

A nota atribuída à Página do Experimento (P3) foi a mais baixa, 6,0, e foram encontradas menos práticas em comparação com P1 e P2, totalizando apenas 10 práticas, das quais metade foi classificada como não aceitáveis. A análise detalhada do relatório pode ser visualizada no Quadro 9.

Quadro 9 - Descrição das Práticas Encontradas com o nível de prioridade de P3

Descrição da Prática Encontrada	**Nível de Prioridade**
Constatei que a página não tem links.	AA
Não encontrei links para saltar blocos de texto.	A
Constatei que esta página não tem cabeçalhos.	A
Perguntei ao validador HTML do W3C e constatei que há 2 erros HTML.	A
Constatei que não há elementos obsoletos usados para controlo visual da apresentação.	A
Constatei que o atributo lang se encontra em falta.	A

Verifiquei que esta página não tem título – falta-lhe o elemento <title>.	A
Encontrei 1 elemento com a semântica de banner.	AA
Encontrei 1 elemento com a semântica de contentinfo.	AA
Encontrei 1 elemento com a semântica main.	AA

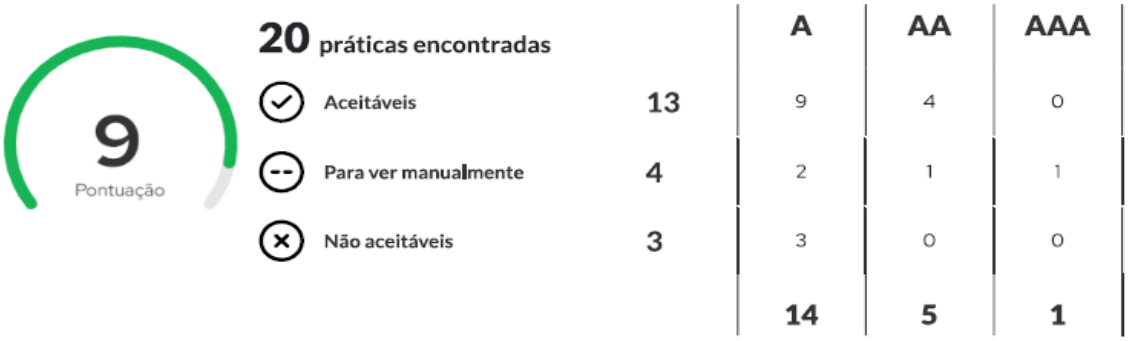
Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado de Accessmonitor.

A página P3, onde o usuário realiza o experimento, possui uma interface mais complexa, exibindo constantemente na tela o vídeo em tempo real do experimento em andamento, além de gerar uma tabela com os dados do experimento. Esses fatores impactaram diretamente na nota 6 atribuída pelo validador automático, uma vez que a análise do link ocorre quando ele é inserido no AccessMonitor. Dedicamos maior atenção e tempo na solução dos problemas identificados para a página do experimento "Trilho de Ar", buscando no Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) melhorias que possibilitassem que pessoas com deficiência visual acessassem e utilizassem o experimento com mais autonomia, facilidade e rapidez.

Parte 2: Aplicação das Recomendações do Resultado da Primeira Validação Automática e Realização da Segunda Validação Automática

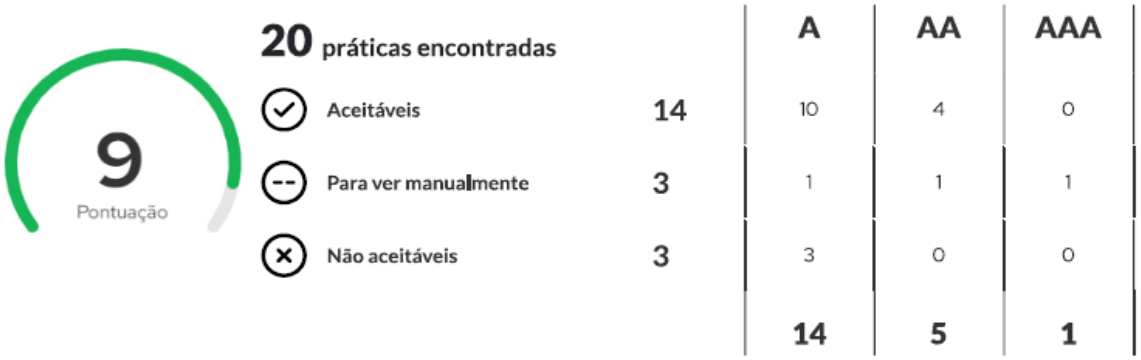
Nesta etapa, aplicamos as recomendações obtidas nos relatórios da primeira parte da pesquisa aos códigos de cada página e, em seguida, submetemos os links novamente ao validador automático. As páginas P1 e P2 apresentaram melhorias em suas notas, conforme ilustrado nas Figuras 16 e 17, respectivamente.

Figura 16 - Amostra do Relatório da Segunda Validação Automática da Página Inicial



Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado de Accessmonitor.

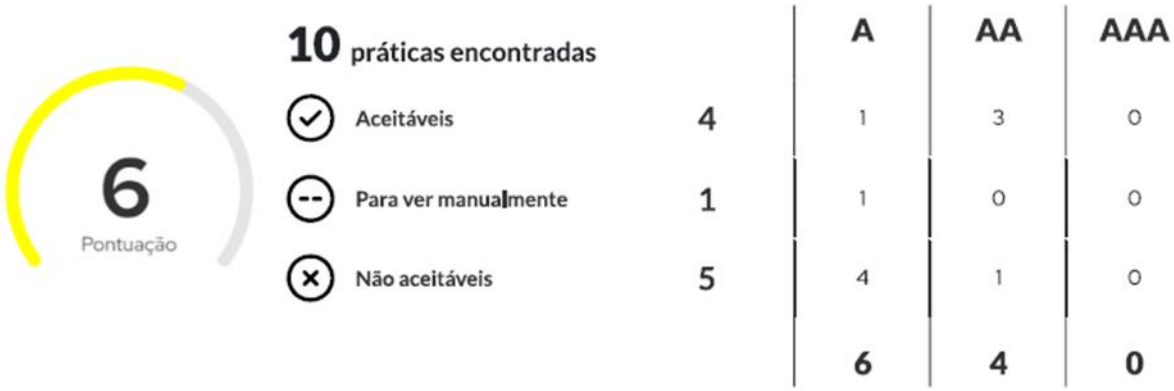
Figura 17 - Amostra do Relatório da Segunda Validação Automática da Experimentos



Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado de Accessmonitor.

Por outro lado, a página P3, apesar das alterações implementadas com base nas recomendações, manteve a mesma nota obtida na primeira validação e a mesma quantidade de práticas encontradas, conforme ilustrado na Figura 18.

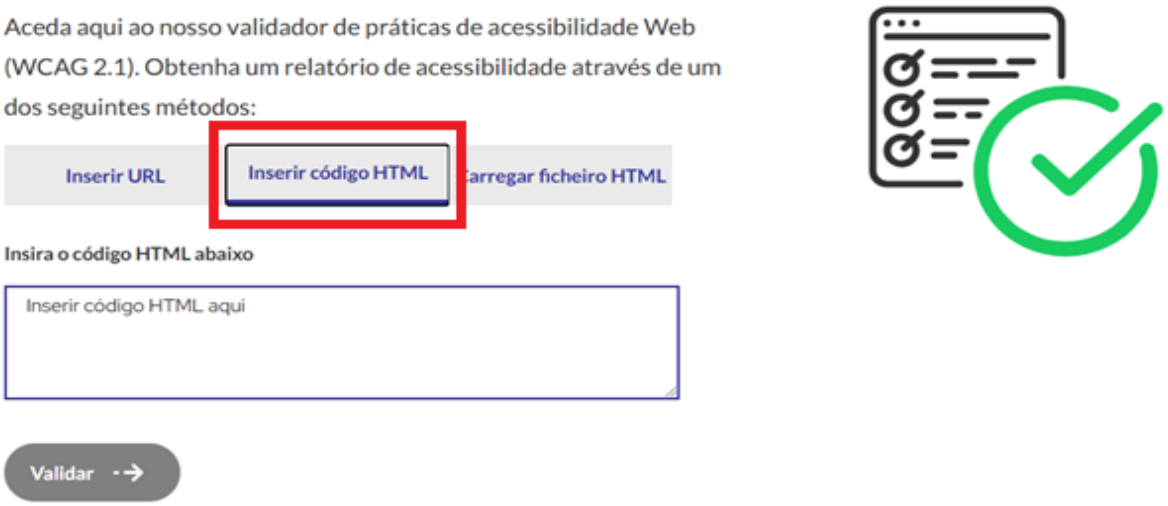
Figura 18 - Amostra do Relatório da Segunda Validação Automática da Página Trilho Ar



Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado de Accessmonitor.

Embora a página do experimento Trilho de Ar não tenha apresentado melhorias mesmo após a implementação de todas as alterações sugeridas pelo validador automático, encontramos uma solução alternativa: validar o código HTML da página em vez do link URL. Esse método de validação é similar ao tradicional via link, exigindo apenas que o usuário acesse o AccessMonitor e selecione a opção para inserir o código HTML, conforme ilustrado na Figura 19.

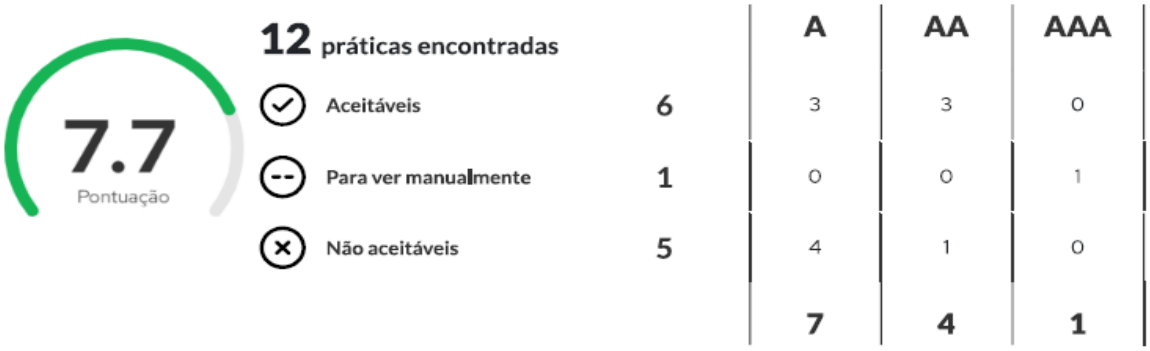
Figura 19 - Layout do site do validador AccessMonitor com o método inserir código HTML selecionado



Fonte**:** https://accessmonitor.acessibilidade.gov.pt/ (2023).

Para garantir a consistência no padrão de implementação da acessibilidade digital, decidimos retornar a página do experimento Trilho de Ar à sua configuração original e validar seu código HTML. Assim como nas páginas P1 e P2, foram observadas melhorias após os ajustes, o que dispensou a necessidade de investigar e adotar outro método para avaliar a acessibilidade das páginas. A validação por meio do código resultou em um resultado distinto em comparação à primeira validação, realizada com o link da página, como pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 - - Amostra do Relatório da Primeira Validação Automática da Página Trilho de Ar Utilizando Código

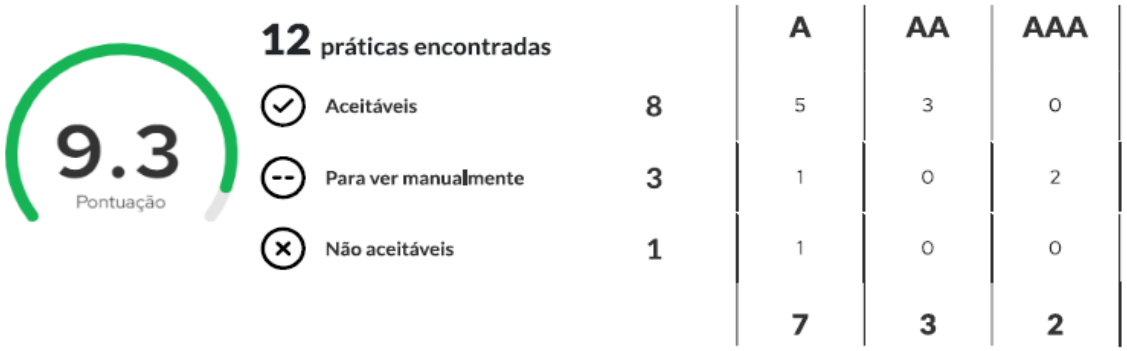


Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado de Accessmonitor.

Ao utilizar esse novo método, identificamos duas práticas adicionais em comparação com a validação feita por meio do link da página, e a nota obtida foi mais alta. Implementamos as alterações sugeridas pelo validador e realizamos a segunda

validação da página P3, utilizando o código HTML. O resultado pode ser observado na Figura 21.

Figura 21 - Amostra do Relatório da Segunda Validação Automática da Página Trilho de Ar Utilizando Código



		A	AA	AAA
Aceitáveis	8	5	3	0
Para ver manualmente	3	1	0	2
Não aceitáveis	1	1	0	0
		7	3	2

Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado de Accessmonitor.

Ao comparar a Figura 15 com a Figura 20 e a Figura 18 com a Figura 21, observamos diferenças nas notas atribuídas e nas práticas identificadas entre os dois métodos. Para as páginas P1 e P2, optamos pelo método de validação via URL, inserindo o endereço da página para análise. Já para a página P3, utilizamos o método de validação por código HTML.

Parte 3: Validação Manual

Utilizamos parte do checklist de Acessibilidade Manual para Deficientes Visuais do e-Mag (BRASIL, 2010) para realizar a validação manual. Começamos verificando se era possível navegar pelas páginas utilizando apenas o teclado, o que foi confirmado como viável.

Em seguida, avaliamos os links, atalhos de teclado, imagens, tabelas, estrutura das páginas, botões e textos. Durante essa análise, aplicamos os princípios do DUA, com o objetivo de tornar o LabRemoto o mais acessível e intuitivo possível para todos os usuários. Eliminamos conteúdos desnecessários, como, por exemplo, o carrossel de imagens da página P1, a fim de simplificar a navegação.

Revisamos os textos de cada página para garantir clareza e compreensão, além de verificar se todas as imagens continham descrições adequadas. Também aprimoramos a estrutura das páginas para facilitar a navegação e asseguramos o funcionamento correto de todos os botões. Como resultado, implementamos

melhorias significativas na navegação, no layout e na usabilidade das páginas P1, P2 e P3, que posteriormente foram testadas com um usuário real. No subitem 6.3 – Integração dos Princípios do DUA nas Melhorias de Acessibilidade e Usabilidade, detalharemos a aplicação dos princípios do DUA tanto na validação manual quanto em outras etapas do processo de validação.

Parte 4: Teste com Usuário Real

O teste foi conduzido por Jerusa (nome fictício), uma pessoa com deficiência visual, utilizando a tecnologia assistiva de leitura de tela NVDA em um notebook com o navegador Chrome. Jerusa é estudante do quarto semestre do curso superior de Sistemas de Informação e atua na área desde o primeiro semestre. Essas informações são relevantes, pois demonstram sua familiaridade com tecnologias assistivas, bem como sua sólida base em TI, permitindo-nos obter insights valiosos para aprimorar a acessibilidade, considerando a perspectiva de uma usuária experiente em navegação web, programação e nas diretrizes de acessibilidade digital da WCAG.

Durante o teste, Jerusa avaliou a navegabilidade de cada página e identificou pontos que necessitavam de ajustes para garantir que usuários de tecnologia assistiva pudessem navegar com autonomia e facilidade. Com base em sua análise, foram sugeridas modificações para tornar as páginas mais acessíveis e intuitivas. No Quadro 10, estão listados os ajustes recomendados para cada página e as soluções implementadas.

Quadro 10 - Descrição dos Pontos de Ajuste de cada Página e Resolução Tomada

Página	Ponto para Ajuste	Resolução
P1	Espaço em branco antes de chegar na “caixa de seleção de idioma”	Foi retirado o espaço em branco
P1	Espaço em branco antes de chegar no botão “Material”	Foi retirado o espaço em branco
P1	Link sem estar especificado	Foi especificado
P1	Botão sem estar especificado	Foi especificado
P2	Espeço em branco	Foi retirado
P2	Especificar link ou botão na opção “mais info”	Foi retirada a opção “mais info”
P2	Especificar botão em “reservar”	Foi especificado
P2	Falta a descrição nas imagens dos experimentos	Foi feita a descrição
P3	Especificar título nível 1 (título principal da página)	Foi especificado

P3	*Splash screem* (tela de abertura) atrapalha a navegabilidade, sendo difícil de sair dela ou identificar se está nela	*Splash screem* foi retirado
P3	Pop-up (janela que abre automaticamente na tela para exibir conteúdo) atrapalha a navegabilidade, sendo difícil de sair dela ou identificar se está nela	Pop-up foi retirado
P3	Descrição do vídeo da câmera	Foi feita a descrição
P3	Especificar e explicar o botão on/of	Foi especificado e explicado
P3	Explicar o tempo que aparece na tela (tempo limite de uso do experimento)	Foi explicado
P3	Descrição da tabela e que ela gera um arquivo Excel	Foi feita a descrição especificando que a tabela gera um arquivo em Excel
P3	Janela log (exibe mensagens de status sobre a atividade do servidor)	Foi feita a discrição da janela log

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao analisar o Quadro 10, podemos perceber que esta etapa é crucial no desenvolvimento da acessibilidade digital e, especialmente, na usabilidade das páginas. Apesar de passarmos por duas etapas de validação automática, ajustes e uma validação manual com ajustes subsequentes, o teste com usuário real, utilizando a tecnologia assistiva NVDA, revelou vários espaços em branco, imagens e botões sem descrição. Este resultado reforça a importância de realizar testes com usuários reais para identificar problemas que poderiam passar despercebidos nas etapas anteriores de validação.

Vale destacar que o teste com Jerusa foi acompanhado pelo professor responsável pelo LabRemoto e pelo desenvolvimento do site, além de mim. Durante o teste, discutimos as dificuldades e os obstáculos encontrados, o que nos permitiu refinar ainda mais o processo de adequação da página.

Um achado significativo dessa etapa foi a solução para um problema identificado na terceira parte da validação manual, relacionado às câmeras da página P3. Essas câmeras exibem dois ângulos diferentes do experimento, de forma sincronizada. A dúvida que surgiu foi: como comunicar a um usuário com cegueira, utilizando tecnologia assistiva, o funcionamento das câmeras? Inicialmente, cogitamos alternativas complexas, mas após o teste com Jerusa, entendemos que a solução era simples: a descrição do que acontece em cada câmera. Essa percepção só foi possível após o teste com o usuário real.

Uma situação que exemplifica a diferença entre a navegação visual e a navegação com tecnologia assistiva de leitura de tela é a tabela localizada no canto superior direito da P3 (Figura 11). A tabela, quando visualizada com a tecnologia assistiva, aparece de maneira isolada, como ilustrado na Figura 22, mostrando como a navegação com leitura de tela interpreta a programação da página de forma diferente da visualização tradicional.

Figura 22 - Tabela da P3, que Relaciona Posição (mm) e Tempo (ms)

Fonte: Recorte do site, https://labremoto.unifei.edu.br/src/trilho-de-ar.php (2020).

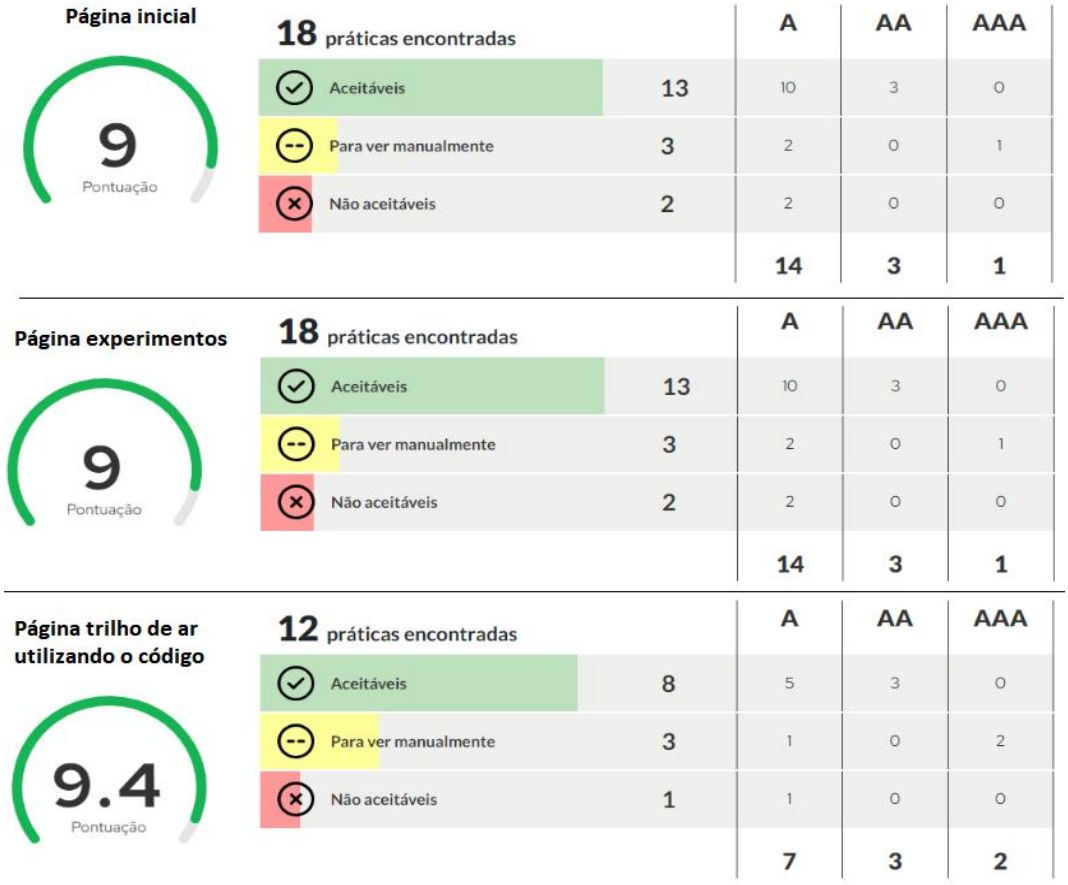
Após o lançamento do carrinho, a tabela exibida na Figura 22 começa a ser preenchida com dados. Visualmente, ela é interpretada como uma tabela, mas na estrutura HTML do site, ela não era definida corretamente como uma tabela. Durante a navegação pela página P3, Jerusa chegou ao local da tabela no layout da página. Ao questionarmos o que ela percebia ali, sua resposta foi: "Só fala posição, tempo em milissegundos." O professor então perguntou se o leitor de tela informava que se tratava de uma tabela. A resposta foi negativa, e Jerusa acrescentou que, no HTML, a tabela também não estava identificada corretamente.

Realizamos os ajustes necessários, seguimos para a etapa 5, que consistiu na última validação automática.

Parte 5: Terceira e Última Validação Automática

Na última etapa da pesquisa, realizamos a validação automática final, após implementar os ajustes nas páginas indicados pelo teste com o usuário real, realizado por Jerusa. A Figura 23 apresenta as notas obtidas em cada página.

Figura 23 - Amostra do relatório da última validação automática das páginas P1, P2 e P3



Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado de Accessmonitor.

Ao compararmos os resultados de cada validação automática, observamos um aumento significativo nas notas entre o primeiro e o último relatório. As páginas P1 e P2, por exemplo, saíram da nota 7.5 na primeira validação para 9.0 nas segunda e terceira validações. Considerando o teste realizado por Jerusa, podemos concluir que, além de boas notas de acessibilidade, a usabilidade das páginas também apresentou um bom desempenho.

Considerando a evolução da P3, que passou da nota 7.7 na primeira validação automática para 9.3 na segunda e 9.4 na terceira e última validação, podemos concluir que a página do experimento Trilho de Ar obteve a melhor nota de acessibilidade. No entanto, foram encontradas menos práticas em comparação com as páginas P1 e P2. A partir do teste com o usuário real, é importante destacar que esta página foi a que passou por mais alterações no código, o que incluiu mudanças significativas no layout e facilitou o seu uso durante o progresso da pesquisa.

Após a execução de todas as etapas da pesquisa, o aprofundamento nos conceitos de acessibilidade digital e usabilidade, e o alinhamento das recomendações do validador automático com os princípios do DUA, conseguimos avaliar a usabilidade dos experimentos remotos após o desenvolvimento de acessibilidade digital. Considerando tanto o DUA quanto às diretrizes de acessibilidade digital, foi possível melhorar a qualidade da usabilidade e acessibilidade das três páginas analisadas no site do LabRemoto, tornando-as mais eficientes e acessíveis para os usuários.

6.1 Evolução da Acessibilidade Digital em Ambientes de Ensino

Considerando os resultados apresentados anteriormente (e aqui reforçados), a análise dos processos de validação automática e manual revelou limites e possibilidades na implementação da acessibilidade digital nas páginas do LabRemoto. A primeira validação automática forneceu um panorama inicial das barreiras de acessibilidade, permitindo identificar padrões estruturais e apontando a necessidade de ajustes específicos. As páginas P1 e P2, que compartilham uma estrutura HTML semelhante, obtiveram pontuação idêntica (7,5) e apresentaram 19 práticas identificadas pelo AccessMonitor, sendo 10 aceitáveis, 3 demandando verificação manual e 6 classificadas como não aceitáveis. Esse dado sugere que, embora a estrutura técnica dessas páginas seja compatível com critérios de acessibilidade em um nível básico, aspectos mais sutis da experiência do usuário ainda necessitam de refinamento.

Por outro lado, a página P3 apresentou um desempenho inferior (pontuação 6,0), com apenas 10 práticas identificadas, das quais 5 eram aceitáveis, 1 exigia verificação manual e 5 foram consideradas não aceitáveis. Essa discrepância pode indicar fragilidades específicas no código-fonte, que não foram evidenciadas nas páginas P1 e P2. A diferença de pontuação entre as páginas reforça a necessidade de uma abordagem mais aprofundada, indo além da mera aplicação de diretrizes técnicas e explorando como os elementos estruturais impactam a navegação real do usuário.

Na segunda etapa, a implementação das melhorias baseou-se nos princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA), visando não apenas elevar as pontuações nos validadores automáticos, mas aprimorar a usabilidade real do sistema. Entretanto, a nova validação indicou que, apesar das mudanças realizadas,

a página P3 manteve sua pontuação inalterada. Esse resultado evidenciou uma limitação do processo automatizado de validação, o que levou à necessidade de examinar diretamente o código-fonte HTML, em vez de validar apenas o link da página. Essa abordagem revelou que certos aspectos estruturais exigiam ajustes manuais mais precisos, destacando que a acessibilidade digital não pode ser reduzida a um conjunto de normas automáticas, mas requer análise contextual e interpretativa.

A terceira etapa, de validação manual, permitiu explorar a acessibilidade sob uma perspectiva prática, observando a experiência do usuário sem recorrer a leitores automáticos. A navegação foi testada exclusivamente pelo teclado, garantindo diferentes modos de interação (Princípio I do DUA). Além disso, foram revisados os textos das páginas para assegurar clareza e compreensão (Princípios I e III do DUA) e verificou-se a adequação entre imagens e descrições (Princípios I e III do DUA). Essa etapa confirmou que as diretrizes automáticas, ainda que essenciais, não substituem a necessidade de ajustes interpretativos e adaptações à diversidade dos usuários.

A quarta etapa, com testes conduzidos por um usuário real, revelou um aspecto crítico não identificado anteriormente: a presença de espaços em branco que afetavam a navegabilidade. O leitor de tela NVDA reconhecia essas áreas como "espaço em branco", interferindo diretamente na fluidez da leitura e na compreensão do conteúdo. Esse achado reforça um ponto central: a validação automatizada e manual, por si só, não é suficiente para garantir acessibilidade digital efetiva. A experiência de um usuário real adiciona uma camada interpretativa fundamental, capaz de expor problemas invisíveis a abordagens exclusivamente técnicas.

A última validação automática confirmou melhorias substanciais na acessibilidade das páginas analisadas, com aumento nas pontuações e redução de práticas não aceitáveis. No entanto, mais do que os resultados numéricos, a análise do processo evidencia que o aprimoramento da acessibilidade digital não pode ser um esforço isolado ou linear. A integração dos princípios do DUA e a interação com usuários reais mostraram-se essenciais para identificar lacunas que os validadores automáticos não captam. Assim, garantir um ambiente digital acessível não se resume à conformidade com métricas padronizadas, mas exige um processo contínuo de avaliação, adaptação e refinamento, considerando a diversidade de experiências e necessidades dos usuários.

Para contextualizar nossos resultados, buscamos na literatura estudos que analisaram a acessibilidade digital de páginas web voltadas para educação e ensino, utilizando o mesmo validador empregado nesta pesquisa. Nosso objetivo foi comparar as pontuações obtidas na primeira validação automática com os dados apresentados nesses estudos, a fim de avaliar se os resultados iniciais desta pesquisa estão alinhados com aqueles relatados na literatura.

A pesquisa de Ramos, Seixas e Seixas (2022), intitulada "Uma Análise de Acessibilidade: o Google Sala de Aula", investigou a acessibilidade das principais páginas da plataforma Google Classroom, utilizando o mesmo validador automático employed na presente pesquisa, o AccessMonitor. O estudo analisou as páginas "login", "sala de aula", "disciplina" e "atividades", e constatou que, apesar das melhorias feitas na plataforma, ainda existem barreiras significativas para usuários com deficiência visual, em especial para aqueles com cegueira. Os autores apontaram que a análise automática e a validação manual, utilizando um checklist baseado nas diretrizes do eMAG, revelaram que as interfaces da plataforma não estavam alinhadas às recomendações do Governo Federal para a acessibilidade. Além disso, a pesquisa demonstrou que, embora o Google Classroom tenha recebido notas razoavelmente boas no validador automático (variando de 6.8 a 8.0), essas notas não refletem totalmente a usabilidade da plataforma para deficientes visuais, sugerindo que as melhorias implementadas ainda não garantem uma experiência plenamente acessível. Essa pesquisa se alinha com a importância de validar continuamente a acessibilidade de ambientes digitais, especialmente aqueles voltados à educação, como o Google Classroom e o LabRemoto, objeto de nossa investigação.

Com a mesma intenção, Bitencourt (2022) analisou a acessibilidade do Portal da Faculdade de Educação da Universidade de Brasília (UnB), a partir da perspectiva de um pesquisador com deficiência visual. O estudo teve como objetivo elaborar um parecer técnico sobre a acessibilidade do site, avaliando as páginas Home, blocos de conteúdos, conteúdo interativo e contatos.

Já Oliveira e Albuquerque (2022) investigaram se o Portal de Periódicos da Capes adota boas práticas de acessibilidade para pessoas com deficiência visual e auditiva. A análise incluiu a página principal do portal e a página de buscas, revelando que o site não garante índices elevados de acessibilidade.

Por sua vez, Paula, Bem e Ferreira (2022) examinaram a acessibilidade dos sites de Institutos Federais de Ensino (IFE) de Minas Gerais, concluindo que não

atendem plenamente às diretrizes de acessibilidade. O estudo analisou os portais das seguintes instituições: Universidade Federal de Juiz de Fora, Universidade Federal de Lavras, Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Ouro Preto, Universidade Federal de São João del-Rei, Universidade Federal de Uberlândia, Universidade Federal de Viçosa.

Os resultados dessas pesquisas, juntamente com os dados obtidos nesta investigação, foram organizados no Quadro 11, permitindo uma análise comparativa das avaliações de acessibilidade realizadas.

Quadro 11 - Relação da Pontuação Obtida no Resultado de Validação Automática Utilizando o Validador AccessMonitor, com as Pesquisas e as Páginas Avaliadas.

Pesquisa	**Página Avaliada**	**Pontuação**
Bitencourt (2022)	Home (Portal da Faculdade de Educação da UnB)	4,5
Bitencourt (2022)	Blocos de Conteúdos (Portal da Faculdade de Educação da UnB)	5,5
Bitencourt (2022)	Conteúdo Interativo (Portal da Faculdade de Educação da UnB)	5,0
Bitencourt (2022)	Contatos (Portal da Faculdade de Educação da UnB)	4,9
Oliveira e Albuquerque (2022)	Página Principal (Portal de Periódicos da Capes)	6,1
Oliveira e Albuquerque (2022)	Página de Buscas (Portal de Periódicos da Capes)	5,1
Paula, Bem e Ferreira (2022)	Universidade Federal de Juiz de Fora	5,1
Paula, Bem e Ferreira (2022)	Universidade Federal de Lavras	6,1
Paula, Bem e Ferreira (2022)	Universidade Federal de Minas Gerais	5,6
Paula, Bem e Ferreira (2022)	Universidade Federal de Ouro Preto	5,5
Paula, Bem e Ferreira (2022)	Universidade Federal de São João del Rei	4,0

Paula, Bem e Ferreira (2022)	Universidade Federal de Uberlândia	6,2
Paula, Bem e Ferreira (2022)	Universidade Federal de Viçosa	5,0
Esta Pesquisa	Inicial (LabRemoto)	7,5
Esta Pesquisa	Experimentos (LabRemoto)	7,5
Esta Pesquisa	Trilho de Ar (LabRemoto)	7,7

Fonte: Elaborado pelo autor.

As pontuações obtidas nas pesquisas analisadas variaram entre 4,0 e 6,2. Em comparação com os resultados da primeira validação automática realizada nesta pesquisa, verificamos que, considerando apenas os critérios de acessibilidade digital, as páginas do labRemoto apresentaram desempenho superior. Além disso, ao analisarmos os resultados da última validação automática, constatamos um aumento significativo das pontuações, lembrando que a nota máxima atribuída pelo AccessMonitor é 10,0.

Essa melhoria não foi um resultado aleatório, mas fruto de um processo estruturado de validação e ajustes contínuos. Entre os fatores que mais impactaram essa evolução, destaca-se o teste com usuário real, que permitiu identificar e corrigir barreiras não detectadas pelos validadores automáticos. A aplicação dos princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) também foi determinante, pois orientou os aprimoramentos de acessibilidade, garantindo uma experiência mais inclusiva na navegação e na usabilidade das páginas analisadas.

Esses achados reforçam que a acessibilidade digital em plataformas de ensino online não pode ser tratada como um processo estático, mas sim como um ciclo contínuo de validação e aprimoramento. Cada nova alteração no site do LabRemoto, seja no código, no design ou no conteúdo, exigirá novas avaliações, de modo a garantir que os princípios da DUA sejam incorporados desde o planejamento até a implementação. Dessa forma, a acessibilidade e a usabilidade do site podem ser continuamente aprimoradas, atendendo às necessidades de um público diverso.

No próximo tópico, aprofundaremos a discussão sobre acessibilidade digital a partir da perspectiva da usabilidade e do uso de tecnologias assistivas em ambientes virtuais de aprendizagem.

6.2 Usabilidade e Tecnologias Assistivas em Ambientes de Aprendizagem Virtual

A implementação da acessibilidade digital no LabRemoto foi conduzida com base em duas frentes principais de preocupação: o código HTML das páginas (programação) e a interface visual. A relação entre esses dois elementos é fundamental para garantir que o ambiente virtual seja não apenas visualmente acessível, mas também navegável e compreensível para usuários que utilizam tecnologias assistivas, como leitores de tela.

O conceito de tecnologias assistivas abrange um conjunto de dispositivos, softwares e recursos que possibilitam ou facilitam a autonomia de pessoas com deficiência no acesso a diferentes ambientes, incluindo os espaços virtuais. Segundo Bersch (2017), as tecnologias assistivas devem ser compreendidas como ferramentas que eliminam barreiras e promovem a inclusão, garantindo que pessoas com deficiência possam exercer plenamente seus direitos, incluindo o direito à educação. No contexto de ambientes virtuais de aprendizagem, leitores de tela, softwares de reconhecimento de voz, teclados adaptados e navegadores acessíveis desempenham um papel essencial para garantir que todos os usuários possam acessar e interagir com o conteúdo de maneira eficaz. Dessa forma, a acessibilidade digital não pode ser vista como um aspecto secundário do desenvolvimento web, mas sim como um requisito essencial para a democratização da informação e do conhecimento.

No caso do ambiente virtual estudado, um dos desafios centrais identificados foi a discrepância entre o que está visível na interface e o que está corretamente especificado no código da página. Quando um elemento é apresentado visualmente, mas não possui a marcação semântica adequada no código, ele se torna inacessível para usuários que dependem de leitores de tela. Esse problema compromete a usabilidade, reduz a autonomia do usuário e pode resultar em barreiras significativas para o acesso à informação.

Um exemplo concreto dessa limitação foi identificado em todas as páginas analisadas: a ausência de cabeçalhos estruturados, uma prática não recomendada pelas Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web (WCAG). O cabeçalho de uma página é a seção que geralmente contém o título, elementos de navegação e logotipo, posicionando-se no topo da interface e oferecendo um ponto de referência essencial para os usuários (W3C, 2018). Se essa área não for explicitamente definida no código

HTML, o leitor de tela não conseguirá identificá-la corretamente, comprometendo a experiência do usuário.

Para ilustrar esse impacto, imagine acessar uma página da web e não conseguir localizar de imediato o título ou a seção de navegação. A desorientação gerada prejudicaria a compreensão do conteúdo e a navegação, tornando o uso do site confuso e frustrante. Esse problema ocorre porque leitores de tela interpretam exclusivamente o código-fonte da página, não a sua interface visual (Moraes, 2019). Assim, sem uma estrutura semântica adequada, informações que são óbvias para usuários videntes tornam-se inacessíveis para aqueles que dependem de tecnologias assistivas.

Com base nessas considerações, a análise dos relatórios das validações automáticas orientou a implementação de ajustes técnicos para garantir uma melhor compatibilidade entre código-fonte e interface. O objetivo central foi proporcionar autonomia na navegação para usuários que utilizam leitores de tela, garantindo que a estrutura e a organização da página estivessem coerentes tanto visualmente quanto na codificação.

Para isso, foram adotadas práticas fundamentais, como: estruturação correta de cabeçalhos (h1, h2, h3 etc.), assegurando que o leitor de tela reconheça a hierarquia do conteúdo; uso adequado de atributos ARIA, que oferecem descrições adicionais para elementos interativos; associação entre imagens e textos alternativos (alt text), permitindo que usuários cegos compreendam o significado das imagens; garantia de que todos os elementos interativos (botões, links, menus) fossem programados corretamente, de forma a serem identificáveis e acionáveis via teclado e leitor de tela (W3C, 2018; Oliveira; Albuquerque, 2022).

Além dessas melhorias técnicas, destaca-se a importância da validação contínua e do envolvimento de usuários reais no processo de ajustes. A experiência de navegação de uma pessoa que utiliza um leitor de tela não pode ser inteiramente prevista apenas por validadores automáticos ou testes visuais. O feedback direto de usuários com deficiência é essencial para identificar barreiras que passariam despercebidas em análises tradicionais (Bitencourt, 2022; Moraes, 2019).

A acessibilidade digital em ambientes virtuais de aprendizagem vai além do cumprimento de diretrizes técnicas; ela está diretamente relacionada à experiência do usuário e à efetividade da plataforma como ferramenta educacional (Cast, 2018). Quando um ambiente virtual é projetado para ser universalmente acessível, ele se

torna mais inclusivo e melhora a experiência de navegação para todos os usuários, independentemente de suas necessidades específicas (Rose; Meyer; Gordon, 2014).

No contexto da educação, garantir que o código HTML esteja alinhado com a comunicação visual da interface tem impacto direto na usabilidade da plataforma. Isso significa que, ao adaptar e melhorar continuamente o ambiente, é possível oferecer uma experiência de aprendizado mais equitativa, na qual todos os estudantes, incluindo aqueles que utilizam tecnologias assistivas, tenham acesso efetivo aos conteúdos e funcionalidades disponíveis (Sassaki, 2009).

O compromisso com a acessibilidade não se encerra com uma única implementação. Cada novo conteúdo inserido, cada mudança na interface ou no código, deve ser acompanhado de verificações e ajustes, assegurando que a experiência digital seja sempre pensada para todos os usuários.

Dessa forma, a acessibilidade digital no LabRemoto não apenas cumpre um papel normativo, mas se alinha ao compromisso com a inclusão educacional e a equidade no acesso ao conhecimento, elementos fundamentais em qualquer ambiente de aprendizagem virtual.

Para concluir a discussão dos resultados e análises, aprofundaremos a integração dos princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) no aprimoramento da acessibilidade e usabilidade. A seguir, exploraremos como esses princípios foram aplicados de forma estratégica para potencializar a experiência do usuário, garantindo um ambiente digital mais inclusivo e eficiente.

6.3 Integração dos Princípios do DUA nas Melhorias de Acessibilidade e Usabilidade

A incorporação dos princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) e suas diretrizes nas melhorias realizadas nas páginas P1, P2 e P3 esteve presente em todas as etapas desta pesquisa, com foco na usabilidade e acessibilidade digital. Para viabilizar essa aplicação, aprofundamos o estudo dos princípios do DUA, buscando compreender como a acessibilidade digital pode ser desenvolvida de forma a garantir um ambiente virtual de ensino acessível a todos os alunos, especialmente aqueles com deficiência visual (Cast, 2011; Moraes, 2019).

O uso de tecnologias assistivas, como leitores de tela, é um recurso essencial para que pessoas com deficiência visual possam acessar e navegar por páginas da web, incluindo ambientes virtuais de aprendizagem (Sassaki, 2009). Dessa forma, compreender o funcionamento dessas tecnologias assistivas é um aspecto fundamental na implementação da acessibilidade digital. Isso só é possível quando há uma correspondência precisa entre o código-fonte da página e os elementos apresentados visualmente na interface (Bitencourt, 2022). Estudos apontam que a falta dessa equivalência compromete significativamente a usabilidade e pode tornar a navegação inviável para usuários que dependem dessas ferramentas (Oliveira; Albuquerque, 2022).

Os princípios do DUA foram determinantes para esse alinhamento entre código HTML, interface e uso de leitores de tela, uma vez que promovem múltiplas formas de apresentação da informação, interação e engajamento (Cast, 2018). Ao longo do processo de validação e ajustes, os princípios do DUA auxiliaram na tomada de decisões sobre como tornar o conteúdo digital mais acessível e navegável, garantindo maior autonomia ao usuário (Rose; Meyer; Gordon, 2014). Como exemplo da aplicação desses princípios, o Quadro 12 apresenta a relação entre as práticas identificadas pelo validador automático como inadequadas e as soluções adotadas com base nos princípios e diretrizes do DUA.

quadro 12 - Relação das Práticas a Serem Resolvidas Relacionadas com os Princípios da DUA e suas Diretrizes

Práticas a serem resolvidas	**Princípio DUA**	**Diretriz DUA**
Texto alternativo nas imagens	I.Propiciar Modos Múltiplos de Apresentação III. Propiciar Modos Múltiplos de Auto envolvimento (engajamento)	1. Oferecer opções diferentes para a percepção; 2. Fornece várias opções para linguagem, expressões matemáticas e símbolos; 3. Oferecer opções para compreender e entender; 7. Proporcionar opções para promover o interesse por parte dos estudantes.
Primeira hiperligação da página deve saltar direto para área do conteúdo principal	II. Propiciar Modos Múltiplos de Ação e Expressão e III.	4. Fornecer opções para a interação física, 6. e 7.
Corrigir os erros do código fonte identificados	I, II e III	3, 6 e 7.

Ajustar as combinações de cor (texto/fundo) para contraste adequado	I	1 e 3.
Incluir cabeçalho na página	I, II e III	1, 2, 3, 6 e 7.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O desenvolvimento e implementação da acessibilidade digital nas páginas selecionadas do laboratório de física da UNIFEI, seguindo as recomendações da WCAG e alinhado aos princípios do DUA, com o objetivo de garantir a usabilidade para usuários com deficiência visual, mostrou-se viável e eficaz. Durante o processo, foram seguidos rigorosamente os passos sugeridos pelo W3C (2021), que incluem: validação dos códigos HTML e das folhas de estilo; verificação do fluxo de leitura da página; realização de validação automática de acessibilidade; execução de validação manual; e testes com usuários reais. O resultado dos testes com usuários reais indicou que as melhorias implementadas nas páginas, com base nas recomendações da WCAG e alinhada com os princípios do DUA, foram efetivas. Após a aplicação das alterações sugeridas pelo usuário real, a nota obtida na última validação automática demonstrou um aumento significativo na acessibilidade digital das páginas, comprovando a eficácia das ações adotadas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados obtidos nesta pesquisa levou à conclusão de que a maioria das práticas identificadas pelo validador automático nas diferentes etapas de validação está classificada nos níveis A e AA de prioridade, conforme estabelecido pelas Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web (WCAG, 2014). Apenas uma pequena parte foi classificada no nível AAA, o que demonstra que, em termos de critérios de acessibilidade, as páginas analisadas já apresentam um bom nível de conformidade com as recomendações. No entanto, é importante destacar que, embora as melhorias implementadas tenham refletido um aumento nas pontuações dos relatórios do validador automático, ainda existem áreas a serem aprimoradas. Isso evidencia que o processo de acessibilidade digital precisa ser contínuo e revisado periodicamente, garantindo que as páginas se mantenham acessíveis e usuais conforme novas alterações sejam realizadas no código HTML da página ou em sua estrutura de interface.

A metodologia adotada nesta pesquisa, que combinou validação automática, validação manual e testes com usuário real, mostrou-se fundamental para o desenvolvimento efetivo da acessibilidade digital nas três páginas do laboratório remoto de física. Cada uma dessas etapas foi crucial para identificar pontos de melhoria e promover as adequações necessárias. A utilização do validador automático AccessMonitor proporcionou uma visão inicial do nível de acessibilidade, enquanto as validações manuais permitiram ajustes finos, e o feedback do usuário real, representado pelos testes realizados pela Jerusa, foi determinante para identificar questões de usabilidade que poderiam passar despercebidas nas etapas anteriores.

Em comparação com a pesquisa de Ramos, Seixas e Seixas (2022), que analisou a acessibilidade das páginas do Google Classroom utilizando o mesmo validador automático, observamos um contexto similar em relação à relevância dos erros apontados para pessoas com deficiência visual. Eles identificaram que as interfaces de ferramentas educacionais, como o Google Classroom, não seguem completamente as recomendações do Governo Federal em termos de acessibilidade, o que pode comprometer a experiência de usuários com deficiência visual. A pesquisa apontou, por exemplo, que as páginas “login” e “sala de aula” obtiveram notas de 6.8 e 8.0, respectivamente, o que indica um nível razoável de acessibilidade, mas não necessariamente de usabilidade. Isso reforça a ideia de que uma boa pontuação no

validador automático não garante, por si só, uma experiência de navegação totalmente acessível ou funcional para todos os usuários.

Na nossa pesquisa, a progressão das pontuações nas validações automáticas, acompanhada pela análise do teste com usuário real, demonstra que as melhorias implementadas aumentaram significativamente a acessibilidade digital das páginas. O teste realizado por Jerusa, uma usuária de tecnologia assistiva de leitura de tela, confirmou que a usabilidade na navegação das páginas foi significativamente aprimorada após a implementação das mudanças. Os obstáculos que dificultavam uma navegação fluida foram removidos, e aspectos cruciais, como a descrição das imagens e a especificação dos botões e links, foram ajustados para garantir uma melhor experiência.

Com base nas conclusões da pesquisa, é possível afirmar que o processo de implementação da acessibilidade digital em plataformas educacionais é possível e deve ser contínuo. A recomendação para futuras pesquisas é que a qualquer alteração realizada no código de um site seja acompanhada de uma validação automática subsequente e, principalmente, de um novo teste com usuários reais, considerando o feedback de pessoas com deficiência. Outro ponto, é que o teste com usuário real seja realizado com mais de uma pessoa com deficiência, para garantir o aprimoramento na experiência de navegação a mais usuários, uma vez que assim, os feedbacks dos testes podem ser comparados. Seguir esses critérios, assegura que a acessibilidade e a usabilidade sejam constantemente aprimoradas, promovendo um ambiente de aprendizagem mais inclusivo e eficaz para todos os usuários, independentemente de suas necessidades específicas.

Uma consideração importante a ser destacada é o papel fundamental dos princípios do Design Universal para a Aprendizagem (DUA) na melhoria da acessibilidade das páginas do laboratório remoto de física. O DUA, ao promover múltiplos meios de representação, expressão e engajamento, proporcionou uma base sólida para a construção de um ambiente digital mais inclusivo, acessível e usual. Ao aplicar as diretrizes do DUA, foi possível garantir que as páginas não apenas seguissem as normas técnicas de acessibilidade definidas pela WCAG, mas também que oferecessem uma experiência mais flexível e fluida, atendendo às diversas necessidades de usuários.

A integração do DUA ajudou a alinhar o código HTML com a interface visual, garantindo que o conteúdo fosse acessível para usuários de tecnologias assistivas,

como os leitores de tela e também para usuários que utilizam apenas o teclado para navegação. Além disso, o DUA incentivou a criação de uma estrutura mais intuitiva e interativa, o que facilitou a navegação e melhorou a autonomia dos usuários com deficiência visual. O uso de alternativas como textos descritivos para as imagens, a definição clara dos cabeçalhos, a utilização de atributos ARIA, a definição de título de cada página, a estruturação fluída e sem informações não importantes, são exemplos de como o DUA contribuiu para a implementação da acessibilidade digital na página inicial do site, de experimentos e na página trilho de ar, proporcionando uma navegação mais eficiente, compreensível, clara e fluída.

Portanto, o DUA não só garantiu a conformidade com as diretrizes de acessibilidade, mas também promoveu um ambiente virtual mais flexível, adaptável e de fácil navegação, favorecendo a inclusão de todos os usuários. A aplicação contínua dos princípios do DUA nas futuras revisões do ambiente virtual de ensino é recomendada para garantir que a acessibilidade digital seja sempre pensada de forma abrangente, atendendo às necessidades de diversos grupos de usuários e assegurando uma experiência educacional equitativa, eficaz, rica e significativa.

REFERÊNCIAS

BARBOSA-FOHRMANN, A. P. **Os modelos médico e social de deficiência a partir dos significados de segregação e inclusão nos discursos de Michel Foucault e de Martha Nussbaum.** REI - Revista Estudos Institucionais, *2*(2), 736–755. 2017 https://doi.org/10.21783/rei.v2i2.76

BENCOMO, S. D. **Control learning**: present and future. Annual Reviews in control, v. 28, n. 1, p. 115-136, 2004.

BERSCH, R. **Introdução à tecnologia assistiva**. Porto Alegre – RS, 2017. Disponível em: https://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf. Acesso em: 28 dez. 2022.

BEZERRA, L. N.; ANTERO, K. F. **Um Breve Histórico da Educação Inclusiva no Brasil.** VII Congresso Nacional de Educação. Maceió. 2020.

BISOL, C. A., PEGORINI, N. N., & VALENTINI, C. B. (2017). **PENSAR A DEFICIÊNCIA A PARTIR DOS MODELOS MÉDICO, SOCIAL E PÓS-SOCIAL.** *Cadernos De Pesquisa*, *24*(1), 87–100. https://doi.org/10.18764/2178-2229.v24n1p87-100

BRASIL. Decreto nº 3.298 de 20 de dezembro de 1999. Brasília: **Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência**, 1999b

BRASIL. **Diretrizes Nacionais para a Educação Especial na Educação Básica**. Brasília: CNE, Conselho Nacional de Educação. 2001b

BRASIL. **e-MAG Checklist de Acessibilidade Manual para Deficientes Visuais.** Brasília, junho de 2010. Disponivel em: < https://www.gov.br/governodigital/pt-br/acessibilidade-digital/emag-checklist-acessibilidade-dv.pdf/view>. Acesso em 02 de agosto de 2023.

BRASIL. **eMAG Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação - Brasília: MP, SLTI, 2014. Disponível em: <https://emag.governoeletronico.gov.br/>. Acesso em: 9 de junho de 2023.

BRASIL. **Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep)**. Censo da Educação Básica 2023: resumo técnico. Brasília, DF: Inep, 2024.

BRASIL. **Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência** (Estatuto da Pessoa com Deficiência) n° 13.146, de 6 de julho de 2015. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm#art127>. Acesso em:12 de julho de 2023.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Especial n° 9.394/96**. Ministério da Educação. 1996. Brasília: Presidência da República. Casa Civil, 1996.

BRASIL. Ministério da educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase>. Acesso em: 08 de outubro de 2022.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial. **Política Nacional de Educação Especial**. Brasília: MEC/SEESP, 1994

BRASIL. **Plano Nacional de Educação** (PNE). Lei Federal n.º 10.172, de 9/01/2001. Brasília: MEC, 2001c

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRASIL. **Conselho Nacional de Educação**. Resolução CNE/CEB nº 04/99, 1999a
BRASIL. Decreto nº 3.956, de 8 de outubro de 2001. **Promulga a Convenção Interamericana para a Eliminação de Todas as Formas de Discriminação contra as Pessoas Portadoras de Deficiência**. Guatemala, 2001a.

BRASIL. Estatuto da Criança e do Adolescente: **Lei federal nº 8069**, de 13 de julho de 1990

BRASIL; Casa Civil. **Decreto nº 7.611, de 17 de novembro de 2011**. Dispõe sobre a educação especial, o atendimento educacional especializado e dá outras providências. 2011

CAETANO, T. C. **Laboratório remoto de física:** uma montagem para os experimentos de acústica e hidrostática. Sisyphus journal of education, volume 7. 2019, p. 92-1 18.

CANU, M., & DUQUE, M. **Laboratorios Remotos ¿ Qué Interés Pedagógico?**. In Encuentro internacional de educación en ingeniería ACOFI. 2015.

CAST. **Universal Design for Learning guidelines version 2.0**. 2011. Disponivel em: <https://udlguidelines.cast.org/binaries/content/assets/udlguidelines/udlg-v2-0/udlg-graphicorganizer-v2-0-portuguese.pdf>. Acesso em: 01 de maio de 2023.

CAST. **Universal Design for Learning Guidelines version 2.2**. 2018. Disponível em: <http://udlguidelines.cast.org>. Acesso em: 01 de maio de 2023.

DIAS, D. P. P.; OLIVEIRA, B. T.; JARDIM, M. I. A. ; VINHOLI JUNIOR, A. J. . **Uma reflexão sobre as diferentes abordagens pedagógicas e a finalidade das atividades experimentais no campo do Ensino de Ciências da Natureza.** DEBATES EM EDUCAÇÃO, v. 12, p. 1-16, 2020

FRANCO, K. A. M. D. **Relação entre o Professor e o Intérprete de Libras no Ensino de Ciências para o aluno surdo:** uma relação pedagógica necessária. 2021; Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2021

GONÇALVES, F. P.; MARQUES, C. A. **Contribuições Pedagógicas e Epistemológicas em Textos de Experimentação no Ensino de Química**. Revista Investigações em Ensino de Ciências, v.11, n.2, 2006, p. 219-238.

KASSAR, Mônica de C. M. **Dossiê: Educação Inclusiva: das Políticas às Práticas Educacionais.** Educar em Revista, Curitiba, Brasil, n. 41, p. 61-79, jul./set. 2011. Editora UFPR 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-40602011000300005> Acesso em: 18 de agosto de 2024

KLUBER, T. E. ; CHRISTOFOLETTI, J. F. **. Demarcação histórico-epistemológica da área de ensino (46) frente à área de educação (38) na CAPES**. ACTIO: DOCÊNCIA EM CIÊNCIAS, v. 8, p. 1-20, 2023.

LADEIRA, M. C. **Concepções e práticas inclusivas de professores de ciências e matemática: um estudo no município de Itajubá.** 2020; Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2020

LEAL, M. M.; SILVA, A. T. S.; MENESES, L. S.; **A Utilização do Simulador Phet como Ferramenta de Ensino nas Aulas On-line de Ciências em uma Escola do Município de Água Branca**. VII congresso nacional de educação, Maceió – AL, p1-12.

LIMA, K. C.; TEIXEIRA, F. **A epistemologia e a história do conceito experimento/experimentação e seu uso em artigos científicos sobre ensino das ciências.** In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciencias - VIII ENPEC / I Congresso Iberoamericano de Investigación en Enseñanza de las Ciencias - CIEC, 2011, Campinas. VIII - ENPEC / I CIEC, 2011

LOCOMANO JÚNIOR, F. G. **Aplicação de recomendações de acessibilidade digital na web no site www.uai-online.com:** em busca da redução das barreiras de acesso para pessoas com deficiência. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Tecnologia e Sociedade. Universidade Federal de Itajubá. p. 105. 2021.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MEDEIROS, A.; MEDEIRROS, C. F. **Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da Física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 24, n. 2. São Paulo, jun. 2002.

NASCIMENTO, C. S.; UIBSON, J. **Uso de Experimentos no Ensino de Física:** Uma Revisão Sistemática da Literatura. Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade. Anais, vol. XV, n.5. Set, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.29380/2021.15.05.24>. Acesso em:12 de junho de 2023.

OLIVEIRA, A. R. P.; MUNSTER, M. A.; GONÇALVES, A.G. **Desenho Universal para Aprendizagem e Educação Inclusiva: uma Revisão Sistemática da Literatura Internacional**. Rev. Bras. Ed. Esp., Bauru, v.25, n.4, p.675-690, Out.-Dez., 2019

OLIVEIRA, C. R. S., LIMA PEREIRA, A., OLIVEIRA, I. N., & SANTOS, H. L. **Um Ambiente para a Prática Remota de Aulas Laboratoriais de Física** (determinação da viscosidade de líquidos). Brazilian Journal of Computers in Education, 17(1), 43. (2009).

PEIXE, A.; LEONEL, A. **Ensino de Física e Educação Especial:** análise da interação entre professores de Físicas e professores da Educação Especial. Revista Insignare Scientia - RIS, v. 3, n. 2, p. 64-85, 24 ago. 2020.

PEREIRA, V A..; GONÇALVES, L. A. L. G..; BRISSI, D. A. **Panorama das publicações sobre o ensino de física e astronomia com foco nas pessoas com deficiências visuais.** Revista Brasileira de Iniciação Científica, *[S. l.]*, v. 8, p. e021024, 2021. Disponível em: https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/rbic/article/view/464. Acesso em: 15 jun. 2023.

PICANÇO, L. T., ANDRADE NETO, A. S. de., GELLER, M. **O Ensino de Física para Surdos: o Estado da Arte da Pesquisa em Educação.** Rev. bras. educ. espec. 27. 2021. https://doi.org/10.1590/1980-54702021v27e0123

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A. GIL-PEREZ, D. **A Hipótese e a Experiência Científica em Educação em Ciência:** contributos para uma reorientação epistemológica. Revista Ciência & Educação, v. 8, n. 2, 2002, p. 253-262.

QUEIROZ, M. A. de. **Acessibilidade Web**: tudo tem sua primeira vez – Parte I. Acessibilidade Legal. 04 de abril de 2008. Disponível em: < http://www.acessibilidadelegal.com/13-tudotem.php>. Acesso em 01 de agosto de 2023.

RAMOS, B. A.; SEIXAS, E. R.; SEIXAS, F. L. **Uma análise de acessibilidade:** o Google Sala de Aula. *In*: WORKSHOP SOBRE EDUCAÇÃO EM COMPUTAÇÃO (WEI), 30. , 2022, Niterói. **Anais** [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2022 . p. 381-391. ISSN 2595-6175. DOI: https://doi.org/10.5753/wei.2022.223028.

RIBEIRO, V. M. **Concepções de professores de ciências naturais sobre o processo de inclusão de alunos com deficiências:** um estudo na microrregião de Itajubá. 2020; Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2020.

SALTON, B. P.; AGNOL, A. D.; TURCATTI, A. **Manual de acessibilidade em documentos digitais**. Bento Gonçalves, RS: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, 2017.

SANTOS, A. M. dos; CARVALHO, P. S.; ALECRIM, J. L. **O ensino de física para jovens com deficiência intelectual:** uma proposta para facilitar a inclusão na escola regular. Revista Educação Especial, *[S. l.]*, v. 32, p. e19/ 1–18, 2018. DOI: 10.5902/1984686X27590. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/educacaoespecial/article/view/27590. Acesso em: 15 jun. 2023.

SANTOS, M. C. D. dos. **Do Direito à Educação**. Cap 4. p. 61-73, in: SETUBAL, J. M., FAYAN, R. A. C. (orgs.). Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência - Comentada. Campinas: Fundação FEAC, 2016. p. 320.

SANTOS, T. C dos; OBANDO, T. M .C; CAVALCANTI, D. N. **Discutindo a Base Comum Curricular Brasileira**: Uma Análise sobre Educação Inclusiva no Ensino da Natureza. Currículo sem Fronteiras, V.21, n1, p.380-397, jan/abr. 2021.

SEBASTIÁN-HEREDERO, E. **Diretrizes para o Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA)**. documento original: Universal Desing Learning Guidelines. Tradução para o português (Brasil) - Versão 2.0. Grupo de Estudos “Pesquisas em Políticas e Práticas educativas Inclusivas - Reconstruindo a escola” (GEPPPEI-RE). Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS). Campo Grande/Mato Grosso do Sul/Brasil. Revista Brasileira de Educação Especial [online]. 2020, v. 26, n. 4. Disponivel em: <https://www.scielo.br/j/rbee/a/F5g6rWB3wTZwyBN4LpLgv5C/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 13 de abril de 2023.

SILVA, G. P.; MORIEL JUNIOR, J. G. **Desenho Universal para Aprendizagem**: uma revisão das práticas no período de 2011-2019. universal design for learning: a review of practices in the period 2011-2019. Brazilian Journal of Development, v. 6, p. 100953-100968, 2020.

SILVA, K. R. da; SANZOVO, D. T.; LUCAS, L. B. **Desenho Universal para Aprendizagem no ensino de Ciências – Anos Finais do Ensino Fundamental:** uma Revisão Sistemática de Literatura. Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas, *[S. l.]*, v. 23, n. 4, p. 617–623, 2022. DOI: 10.17921/2447-8733.2022v23n4p617-623. Disponível em: https://revistaensinoeeducacao.pgsscogna.com.br/ensino/article/view/9706. Acesso em: 6 ago. 2023.

SILVA, L. V.; BEGO, A. M.; **Levantamento Bibliográfico sobre Educação Especial e Ensino de Ciências no Brasil**. Rev. Bras. Ed. Esp., Marília, v. 24, n .3, p. 343-358, 2018.

SONZA, A. P. et al. **Acessibilidade e tecnologia assistiva: pensando a inclusão sociodigital de PNEs**. Bento Gonçalves: Ministério da Educação, 2013, 367 p.

UNESCO. **Declaração de Salamanca**: Sobre Princípios, Políticas e Práticas na Área das Necessidades Educativas Especiais, Salamanca-Espanha. 1994.

UNESCO. **Declaração mundial sobre educação para todos e plano de ação para satisfazer as necessidades básicas de aprendizagem**. Jomtien, Tailândia: UNESCO, 1990

VARGAS, J. S., GOBARA, S. T. **Interações entre o aluno com surdez, o Professor e o Intérprete em aulas de física:** uma perspectiva vygotskiana. Revista Brasileira de Educação Especial, 20(3), 449-460. 2014. https://doi.org/10.1590/S1413-65382014000300010

VECHIATO, F. L.; VIDOTTI, S. A. B. G. **Recomendações de usabilidade e de acessibilidade em projetos de ambientes informacionais digitais para idosos.** Tendências da Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação, v. 5, n. 1, p. 1-23, 2012.

Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/114755>. Acesso em: 03 de dezembro de 2022.

VITALIANO, C. R.; PRAIS, J. L. S..; SANTOS, K. P. **Desenho Universal para a Aprendizagem aplicado à promoção da educação inclusiva:** uma revisão sistemática. Ensino Em Re-Vista, v.26, n.3 p.805-827 2019 ISSN: 1983-1730

W3C. **W3C Accessibility Guidelines (WCAG) 3.0**. 2021. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/2021/WD-wcag-3.0-20211207/>. Acesso em: 9 de junho de 2023.

ZERBATO, A. P.; MENDES, E. M. **Desenho universal para a aprendizagem como estratégia de inclusão escolar**. Educação Unisinos, v. 22, n. 2, p. 147-155, 2018.