

Diretrizes de Acessibilidade em Ambientes de Desenvolvimento Integrado para Estudantes Cegos

Eliana Zen¹, Tatiana Aires Tavares²

¹ Instituto Federal Farroupilha (IFFar)
São Vicente do Sul – RS – Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Computação (PPGC)
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)
Pelotas – RS – Brasil

{eliana.zen@iffarroupilha.edu.br; tatiana@inf.ufpel.edu.br}

Abstract. Introduction: Due to the use of graphical elements that are not fully accessible to screen readers, Integrated Development Environments (IDEs), commonly used in computer programming courses, may hinder the learning process of blind students. **Objective:** This Doctoral Thesis set out to specify accessibility guidelines for the design of IDEs aimed at this audience. **Methodology:** The study was conducted in 7 stages (Exploratory, Descriptive, Correlational, Selection, Specification, Validation, and Refinement), including literature review, questionnaires, interviews, and focus groups. **Results:** It was found that the recommendations fulfill their role in supporting the development of more accessible IDEs.

Keywords Accessibility, Computer Programming, Blind Students, Guidelines.

Resumo. Introdução: Por utilizarem elementos gráficos não totalmente acessíveis aos leitores de tela, os Ambientes de Desenvolvimento Integrado (IDEs), usados nas disciplinas de programação de computadores, podem prejudicar a aprendizagem de estudantes cegos. **Objetivo:** Esta Tese de Doutorado propôs-se a especificar diretrizes de acessibilidade para o projeto de IDEs voltadas a esse público. **Metodologia:** O estudo foi conduzido em 7 estágios (Exploratório, Descritivo, Correlacional, Seleção, Especificação, Validação e Refinamento) incluindo revisão de literatura, questionários, entrevistas e grupo focal. **Resultados:** Constatou-se que as recomendações cumprem seu papel em apoiar o desenvolvimento de IDEs mais acessíveis.

Palavras-Chave Acessibilidade, Programação de Computadores, Estudantes cegos, Diretrizes.

1. Introdução

As Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) têm desempenhado um papel fundamental ao ampliar a disponibilidade de produtos, serviços e informações [Paciello 2000], contribuindo para garantir o direito de acesso ao conhecimento em todas as suas formas [Murillo-Morales e Miesenberger 2020]. No entanto, muitos recursos ainda apresentam limitações em termos de acessibilidade e usabilidade, o que compromete sua eficácia e impõe barreiras à inclusão de usuários com diferentes tipos

de deficiência [Zen 2024]. Em se tratando de pessoas com deficiência visual, isso é especialmente relevante, pois, na maioria desses sistemas, a aquisição das informações ocorre predominantemente por meio da visão [TORRES et al. 2016].

Em cursos da área de Computação, o impacto das barreiras de acessibilidade pode ser acentuado, uma vez que esses cursos fazem uso intensivo de ferramentas que utilizam recursos visuais. Isso torna o processo de ensino-aprendizagem, a realização de atividades práticas e o uso de tecnologias especialmente desafiadores para estudantes com deficiência visual [Rajaselvi et al. 2021]. Especificamente nas disciplinas que envolvem programação de computadores, o uso de ferramentas fortemente baseadas em elementos gráficos e metáforas - como os Ambientes de Desenvolvimento Integrado (IDEs)¹ - aliado às especificidades das linguagens de programação², impõe barreiras significativas à realização de tarefas relacionadas ao desenvolvimento de software [Mountapmbeme et al. 2022].

Essas limitações de acessibilidade podem levar os estudantes a recorrer a soluções alternativas para realizar as atividades, que geralmente oferecem menos funcionalidades e diferem daquelas utilizadas pelos colegas. Nesses casos, os estudantes podem necessitar de tempo e esforço cognitivo adicional, o que tende a gerar frustração e impactar negativamente no seu engajamento e dedicação. Ademais, na ausência de um treinamento adequado e da oportunidade de se familiarizar com essas tecnologias ao longo do curso, a formação profissional desses estudantes pode ser prejudicada, uma vez que o domínio de recursos e ferramentas de apoio à programação é essencial para sua inserção e atuação no mercado de trabalho [Zen 2024].

Melhorar a acessibilidade das ferramentas essenciais para o aprendizado de programação torna-se fundamental para proporcionar que todos os estudantes tenham acesso igualitário aos recursos disponíveis. Neste sentido, este trabalho descreve o processo de elaboração de diretrizes de acessibilidade em IDEs para estudantes cegos. Essas diretrizes priorizam a utilização dos principais recursos e funcionalidades essenciais para o aprendizado de programação de computadores oferecidos por esses ambientes, sem se concentrar em funcionalidades extremamente avançadas ou em ferramentas específicas.

1.1. Problema de Pesquisa

A programação de computadores envolve o desenvolvimento, teste, correção e atualização de códigos-fonte de programas [Sharma 2020], com o objetivo de instruir o computador a resolver problemas [Hermans e Aldewereld 2017]. Essa atividade exige o domínio de uma ou mais linguagens de programação, a compreensão das características da tarefa que precisa ser executada e o uso adequado da sintaxe e dos comandos específicos da linguagem adotada [Gomes et al. 2015].

Programar pode ser especialmente desafiador para estudantes que estão iniciando o aprendizado nessa área [Gomes et al. 2015], pois requer a compreensão de conceitos abstratos [Lahtinen et al. 2005] e o desenvolvimento de habilidades que possibilitem construir programas capazes de resolver problemas reais [Gomes et al. 2015]. Estudantes com deficiência visual, em particular, podem encontrar obstáculos adicionais, uma vez

¹Do inglês *Integrated Development Environment*.

²Linguagem artificial usada para controlar o fluxo de operações de um computador [Sharma 2020].

que diversas linguagens de programação fazem uso de elementos visuais e possuem uma sintaxe complexa [Sánchez e Aguayo 2006].

Considerando que a maioria desses estudantes utiliza leitores de tela como principal recurso de Tecnologia Assistiva (TA) para acessar computadores [Zen et al. 2022], é fundamental compreender as barreiras e os desafios enfrentados por eles ao interagir com ferramentas de desenvolvimento de software. Essa compreensão é importante para o desenvolvimento de soluções que promovam a inclusão e a acessibilidade, assegurando igualdade de oportunidades para estudantes cegos tanto no contexto educacional quanto no profissional.

Diante do contexto e do problema de pesquisa apresentados, formulou-se a seguinte questão de pesquisa para orientar os estudos científicos conduzidos nesta Tese de Doutorado: "Quais estratégias devem ser adotadas para promover a acessibilidade em IDEs para estudantes com deficiência visual?". Para responder a este questionamento, a Tese de Doutorado abordada neste artigo teve como objetivo principal a elaboração de um conjunto de Diretrizes de Acessibilidade voltadas ao desenvolvimento de IDEs acessíveis a estudantes cegos. O foco está em oferecer orientações práticas para analistas e desenvolvedores durante a criação ou atualização desses ambientes, de modo a torná-los mais inclusivos e adequados às necessidades desse público. Para alcançar esse propósito, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar os recursos de TA mais utilizados por pessoas com deficiência visual para interagir com sistemas digitais, bem como as principais barreiras e limitações encontradas por eles durante a interação;
2. Investigar as principais barreiras e limitações encontradas por estudantes com deficiência visual para aprender a programar e realizar tarefas relacionadas à programação de computadores;
3. Investigar as principais barreiras e limitações encontradas por estudantes com deficiência visual para interagir com IDEs;
4. Elaborar um conjunto preliminar de recomendações para aprimorar a acessibilidade de IDEs para estudantes com deficiência visual;
5. Avaliar as recomendações preliminares com diferentes grupos de especialistas do domínio da aplicação; e,
6. Refinar as estratégias preliminares para elaboração do conjunto de Diretrizes de Acessibilidade em IDEs para estudantes cegos.

1.2. Solução Produzida

Ao longo da pesquisa, foram conduzidos diversos estudos. Primeiramente, realizou-se uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para identificar os principais recursos de TA utilizados por pessoas com deficiência visual [Zen et al. 2022, Zen et al. 2023c]. Os resultados indicaram que os leitores de tela se destacam como a ferramenta mais utilizada para obter acesso aos conteúdos digitais.

Posteriormente, foram aplicados questionários a professores de programação de computadores e realizadas entrevistas com estudantes e egressos de cursos de Computação com deficiência visual. O objetivo foi identificar os principais desafios enfrentados pelos estudantes para aprender a programar e executar tarefas relacionadas à programação. Os resultados revelaram que esses estudantes enfrentam dificuldades

tanto para acompanhar as aulas e acessar os materiais de apoio quanto para utilizar as ferramentas empregadas no processo de aprendizagem.

A partir dessas constatações, o foco desta Tese de Doutorado foi inicialmente direcionado à elaboração de diretrizes de acessibilidade em IDEs, voltadas a atender às necessidades e preferências de estudantes com qualquer tipo de deficiência visual. No decorrer da pesquisa, contudo, optou-se por delimitar o escopo das diretrizes especificamente para estudantes cegos, uma vez que o estudo se concentrou no uso de leitores de tela (TA mais amplamente utilizados por esse público). Outros recursos de TA comumente utilizados por estudantes com baixa visão, como ampliadores de tela, não foram abordados com a profundidade necessária para embasar diretrizes específicas.

As etapas seguintes da pesquisa envolveram a validação e o aprimoramento das recomendações propostas, com a participação de especialistas no domínio da aplicação, visando assegurar a relevância e a adequação às necessidades reais dos estudantes cegos.

Como contribuição adicional, os resultados evidenciaram que grande parte dos professores desconhece as necessidades e preferências de aprendizagem dos estudantes com deficiência visual. Em resposta a essa lacuna, foi desenvolvida uma Cartilha de Orientações direcionada a docentes de disciplinas que envolvem programação de computadores que atuam com esse público. O material tem como propósito fomentar práticas pedagógicas mais inclusivas, sensibilizar os educadores quanto à acessibilidade no ensino da programação e oferecer subsídios para tornar o processo de ensino-aprendizagem mais equitativo e eficaz.

1.3. Organização do Artigo

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 descreve o percurso metodológico adotado para a realização da pesquisa; a Seção 3 apresenta os resultados obtidos em cada etapa do estudo e suas implicações para a elaboração das recomendações; as contribuições da pesquisa para a área de Interação Humano Computador (IHC) são discutidas na Seção 4; a Seção 5 detalha os procedimentos adotados para atender aos princípios éticos na condução de pesquisas envolvendo seres humanos; e, por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões, destacando as principais contribuições do estudo, suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2. Métodos

Esta pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, uma vez que se propôs a compreender e interpretar os significados, os contextos e as particularidades dos dados coletados [Gerhardt e Silveira 2009]. Nesse tipo de investigação, busca-se identificar e analisar as experiências e percepções dos participantes, de modo a contribuir para uma compreensão aprofundada da temática em estudo [Gibbs 2009].

Por ter como finalidade gerar conhecimentos para aplicação prática [Gerhardt e Silveira 2009], visando produzir saberes voltados à solução de problemas concretos [Thiollent 2022], a pesquisa pode ser classificada como aplicada. Em relação aos objetivos, a pesquisa caracterizou-se como exploratória, pois buscou ampliar a compreensão sobre um tema ainda pouco investigado [Gil et al. 2002].

A escolha metodológica é coerente com a natureza do problema investigado, que buscou compreender as experiências e percepções dos participantes, bem como propor

soluções práticas para questões relacionadas à acessibilidade em IDEs para estudantes cegos. As técnicas adotadas em cada etapa da pesquisa são descritas a seguir.

2.1. Análise Qualitativa

Para a realização da análise qualitativa, empregada em diversos estágios da pesquisa, optou-se pela utilização da técnica de Análise de Conteúdo, que abrange um conjunto de técnicas destinadas a analisar as comunicações, visando obter, por meio de procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo, indicadores que possibilitem inferências sobre os conhecimentos relacionados às condições de produção/recepção das mensagens [Bardin 2015]. Como base, foram adotados os estudos publicados por Baker et al. (2019) e Mountapmbeme et al. (2022).

Baker et al. (2019) investigaram as barreiras enfrentadas por estudantes cegos matriculados em cursos na área de Computação. Mountapmbeme et al. (2022), por outro lado, realizaram uma RSL que buscou identificar esforços de pesquisa voltados para tornar os IDEs acessíveis para programadores profissionais com deficiência visual e alunos com deficiência visual aprendendo a programar.

Os estudos mencionados serviram de base para a identificação do conjunto de categorias e códigos adotados na análise qualitativa dos desafios e obstáculos educacionais enfrentados por estudantes cegos. Os códigos adotados por Mountapmbeme et al. (2022) foram especialmente úteis para esta Tese de Doutorado, pois foram adotados na análise qualitativa dos resultados obtidos nas entrevistas e questionários e, posteriormente, contribuíram para a definição das categorias utilizadas na classificação das diretrizes propostas.

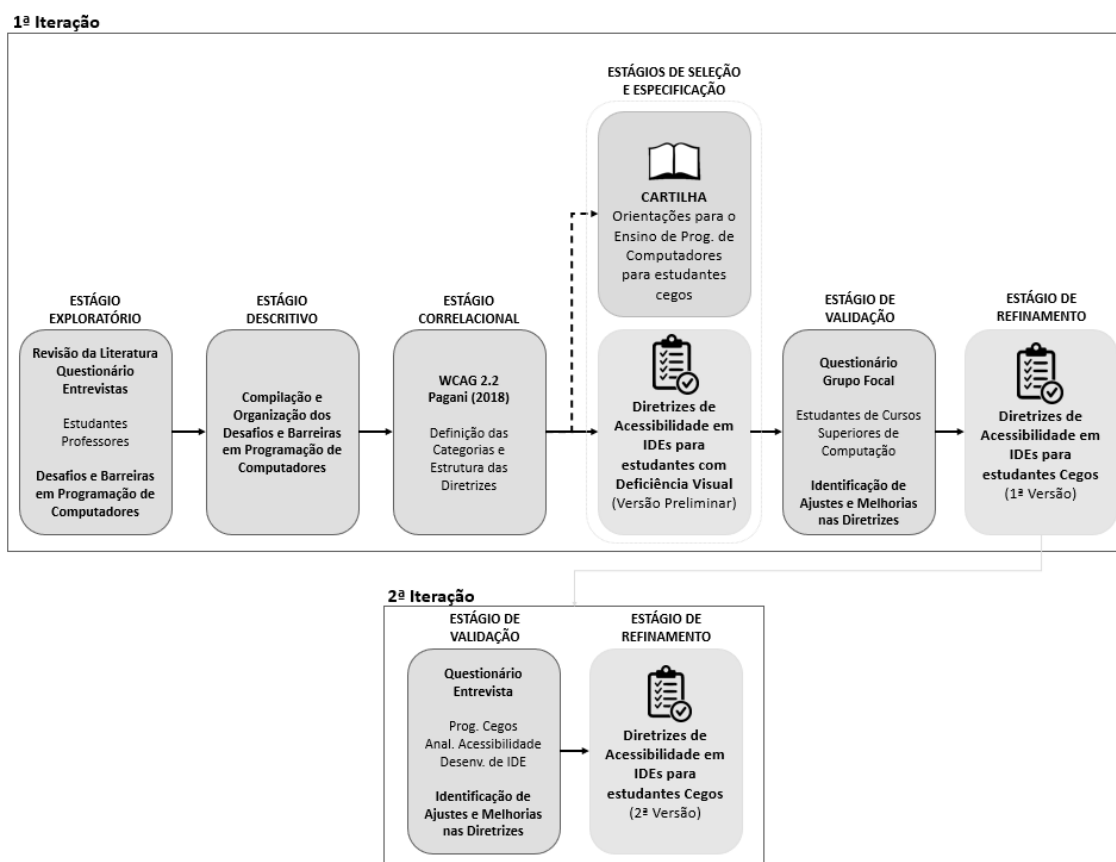
2.2. Especificação das Diretrizes

O processo de elaboração da Diretrizes foi fundamentado na metodologia proposta por Quiñones et al. (2018), que descreve um processo formal de desenvolvimento e validação de diretrizes de usabilidade e/ou *User eXperience* (UX), incluindo oito estágios: (1) Estágio Exploratório; (2) Estágio Experimental; (3) Estágio Descritivo; (4) Estágio Correlacional; (5) Estágio de Seleção; (6) Estágio de Especificação; (7) Estágio de Validação; e, (8) Estágio de Refinamento. Embora não trate especificamente de diretrizes de acessibilidade, esta metodologia foi adotada porque fornece um protocolo de pesquisa claro e organizado. Além disso, a acessibilidade pode ser entendida como uma pré-condição para a usabilidade [Leporini e Paternò 2004], visto que para que um usuário possa tirar proveito do apoio computacional oferecido por um sistema, não podem existir barreiras que o impeçam de interagir com sua interface [Barbosa e Silva 2010].

É importante destacar que Quiñones et al. (2018) afirmam que o desenvolvimento das diretrizes não precisa seguir uma abordagem sequencial dos estágios mencionados; ou seja, eles podem ser realizados de forma iterativa. Inclusive, em circunstâncias específicas, é possível que: (1) alguns estágios se tornem opcionais, não sendo realizadas por algum motivo; (2) alguns estágios se sobreponham e sejam executados simultaneamente; e (3) um estágio possa ser interrompido, permitindo retornar a um estágio anterior. Além disso, é possível repetir todas as etapas, algumas etapas ou apenas uma etapa da metodologia, bem como realizar quantas iterações forem necessárias. A metodologia também não determina que o processo finalize na Etapa 8 (Estágio de Refinamento).

Portanto, para os fins desta Tese de Doutorado, a pesquisa foi conduzida em dois ciclos iterativos, conforme ilustrado na Figura 1. No primeiro ciclo, todos os estágios propostos por Quiñones et al. (2018) foram realizados em sequência, exceto o Estágio Experimental (estágio opcional, onde é preciso verificar a necessidade de realizar novos experimentos para coletar informações complementares que não tenham sido identificadas). Já no segundo ciclo, foram executados apenas os Estágios de Validação e Refinamento.

Figura 1. Processo de elaboração das Diretrizes



Fonte: Adaptado de Quiñones et al. (2018)

De acordo com Quiñones et al. (2018), o Estágio Exploratório deve contemplar a coleta de informações específicas relacionadas ao domínio de aplicação das diretrizes a serem desenvolvidas. Nesta pesquisa, o Estágio Exploratório envolveu a realização das seguintes atividades: (1) Revisão da literatura *ad hoc* para identificar as principais barreiras encontradas por pessoas com deficiência visual ao aprender a programar, realizar tarefas associadas à programação de computadores e interagir com IDEs; e, (2) Levantamento das dificuldades enfrentadas por estudantes com deficiência visual nas disciplinas relacionadas à programação de computadores. As informações obtidas foram analisadas a partir de uma abordagem qualitativa, utilizando a técnica de análise de conteúdo.

No Estágio Descritivo, os resultados obtidos no Estágio Exploratório foram compilados e analisados. Como produto dessa etapa, foram identificadas as barreiras

e os desafios enfrentados por pessoas com deficiência visual para aprender a programar, realizar tarefas relacionadas à programação de computadores e interagir com IDEs. Os dados coletados foram organizados em dois grupos: (1) barreiras e desafios educacionais; e (2) barreiras e desafios de interação. Neste segundo grupo, foram considerados apenas os aspectos relacionados à interação com IDEs voltados à programação baseada em texto, realizada por meio do uso de leitores de tela.

No Estágio Correlacional, os dados obtidos nos Estágios Exploratório e Descritivo foram consolidados e categorizados para formar os atributos específicos do domínio da aplicação [Quiñones et al. 2018]. Este Estágio também contemplou a especificação das Categorias adotadas para a classificação das diretrizes de acessibilidade propostas, bem como a definição da estrutura das recomendações, que considerou aspectos como a organização, estrutura e forma de redação das *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG), [WCAG 2.2 2023]. Além disso, o modelo proposto por Britto and Pizzolato (2018), que apresenta um guia de recomendações de acessibilidade para interfaces *web* com foco em aspectos do Autismo, também foi utilizado como base.

Os Estágios de Seleção e de Especificação, por sua vez, foram conduzidos conjuntamente, utilizando os resultados obtidos nos Estágios Exploratório, Descritivo e Correlacional para elaboração da versão preliminar das diretrizes. Todas as barreiras e desafios de interação foram organizadas a partir das categorias definidas no Estágio Correlacional. Em seguida, essas dificuldades passaram pela fase de seleção, envolvendo o agrupamento, adaptação e escrita das recomendações. Nesta etapa, foi analisada a relação entre as dificuldades abordadas por cada categoria, verificando quais dessas dificuldades estariam relacionadas a uma mesma diretriz e quais gerariam novas diretrizes. Posteriormente, procedeu-se à especificação do texto das recomendações preliminares. As barreiras e desafios educacionais identificados no Estágio Exploratório, em contrapartida, serviram de subsídio para a elaboração de uma cartilha com orientações voltadas ao ensino de programação de computadores para estudantes cegos.

Nos dois ciclos do Estágio de Validação, optou-se por utilizar parecer especializado para validação das recomendações. Esta técnica consiste em perguntar a especialistas, pesquisadores ou praticantes, sobre a utilidade, eficiência e eficácia do conjunto de heurísticas para avaliar um determinado produto [Quiñones et al. 2018]. O 1º ciclo envolveu a participação de estudantes dos cursos de computação, tanto com deficiência visual quanto sem, que responderam a questionários e participaram de um grupo focal. No segundo ciclo, as recomendações foram avaliadas por meio de questionário e entrevista. Participaram desta etapa três programadores cegos, um analista de acessibilidade e um professor de um curso de computação envolvido no desenvolvimento de um ambiente de programação.

Concluído cada Estágio de Validação, procedeu-se ao refinamento, ajuste e aprimoramento das recomendações formuladas. A Seção 3 apresenta os resultados correspondentes a cada um dos estágios da pesquisa.

3. Resultados e Discussão

Esta Seção apresenta os principais resultados e contribuições obtidos ao longo da execução da pesquisa descrita nesta Tese de Doutorado, além de descrever os procedimentos adotados para alcançá-los.

3.1. Compreendendo o Problema

A primeira etapa da metodologia proposta por Quiñones et al. (2018) é o Estágio Exploratório, que consiste na coleta de informações específicas relacionadas ao domínio de aplicação das diretrizes a serem desenvolvidas. Nesse sentido, foi inicialmente conduzida uma RSL com o objetivo de identificar os principais recursos de TA utilizados por estudantes com deficiência visual para interagir com sistemas digitais [Zen et al. 2022, Zen et al. 2023c]. Os resultados apontaram os leitores de tela como TA mais amplamente utilizada nesse contexto. Essa etapa foi fundamental para direcionar adequadamente o conteúdo das recomendações, uma vez que a TA utilizada impacta diretamente nas formas de interação adotadas pelos usuários, os obstáculos que eles enfrentam e, por consequência, orienta as decisões de design voltadas à melhoria da acessibilidade.

Adicionalmente, para atingir o objetivo proposto nesta Tese de Doutorado, identificou-se a necessidade de compreender os desafios de acessibilidade enfrentados por estudantes com deficiência visual em disciplinas de programação de computadores. Para isso, foram realizadas entrevistas com estudantes e egressos de cursos da área de Computação que possuem deficiência visual, além da aplicação de questionários a professores de programação que já tivessem lecionado para estudantes com essa mesma deficiência [Zen et al. 2023d, Zen et al. 2023b, Zen et al. 2023a]. Os participantes, tanto discentes quanto docentes, foram recrutados por meio de listas de e-mails, indicações de professores, contatos dos pesquisadores e pela técnica de amostragem *snowball sampling*³, na qual os próprios participantes indicavam novos participantes com o perfil desejado para o estudo. Os resultados obtidos no Estágio Exploratório foram classificados em duas categorias:

1. **Desafios e Barreiras Educacionais.** Reuniu dificuldades enfrentadas durante a aprendizagem de programação de computadores, tais como: limitações de acessibilidade nos recursos e materiais de apoio utilizados nos cursos, o que acaba prejudicando o acompanhamento das aulas e realização das atividades solicitadas pelos professores; inexistência de um padrão estabelecido para leitores de tela verbalizarem o código-fonte, resultando na omissão ou na transmissão inadequada de informações importantes; e, o conhecimento limitado dos professores a respeito das necessidades e preferências, bem como dos obstáculos enfrentados por esses estudantes, o que pode resultar na escolha inadequada de estratégias e ferramentas de ensino.
2. **Desafios e Barreiras de Interação.** Concentrou as dificuldades de interação com as ferramentas utilizadas para aprender a programar e executar tarefas relacionadas à programação de computadores, dentre as quais pode-se destacar: limitações de acessibilidade para interação utilizando teclado e leitor de tela; e, dificuldade de identificação, por parte de estudantes e professores, dos recursos de acessibilidade oferecidos pelas ferramentas, tanto do ponto de vista da TA quanto do IDE.

As barreiras enfrentadas pelos estudantes com deficiência visual, frequentemente, resultam na necessidade de um tempo maior em comparação aos colegas para realizar as atividades. Isso ocorre porque os estudantes podem depender do auxílio do professor, dos

³Método de amostragem em que o pesquisador solicita aos participantes que indiquem outras pessoas que possuam as características desejadas para a pesquisa [Gil et al. 2002]

colegas ou de outras pessoas, seja para encontrar uma ferramenta adequada para realizar as atividades ou para aprender a utilizar os recursos necessários para programar. Essas barreiras impactam negativamente no comprometimento e dedicação dos estudantes, pois podem deixá-los frustrados e demandar mais esforço cognitivo.

Os resultados obtidos neste Estágio ressaltaram a importância de conhecer as necessidades e preferências dos estudantes com deficiência visual para aprimorar a escolha das estratégias, recursos e ferramentas adotados pelos professores no ensino de programação de computadores. Além disso, os professores de programação, professores de sala de recursos, educadores especiais e outros profissionais precisam estar familiarizados com as tecnologias existentes e as possibilidades de configuração dos recursos de TA que podem auxiliar na interação dos estudantes. Fica evidente a necessidade de promover a conscientização entre os educadores e fornecer o treinamento adequado para criar um ambiente de aprendizagem mais inclusivo.

3.2. Especificação das Diretrizes

O processo de especificação das diretrizes abordado nesta Tese de Doutorado compreende os Estágios Descritivo, Correlacional, de Seleção e de Especificação (Figura 1). No Estágio Descritivo, foram selecionados os tópicos mais relevantes das informações coletadas nas etapas anteriores, com o objetivo de formalizar os principais conceitos relacionados à pesquisa. No Estágio Correlacional, definem-se as características das diretrizes a serem elaboradas, bem como os critérios para sua categorização, agrupando-as conforme aspectos específicos. O Estágio de Seleção envolve as decisões sobre manter, adaptar e/ou descartar os conjuntos de heurísticas identificados nas fases anteriores. Por fim, o Estágio de Especificação abrange a formalização do novo conjunto de diretrizes propostas, utilizando um modelo padrão [Quiñones et al. 2018].

Inicialmente, foram organizados os Desafios e Barreiras de Interação identificados no Estágio Exploratório. A definição das categorias envolveu uma abordagem tanto dedutiva quanto indutiva. A abordagem dedutiva foi aplicada nos casos em que os desafios apresentavam correspondência direta com as categorias previamente estabelecidas por Mountapmbeme et al. (2022). Por outro lado, a abordagem indutiva foi empregada para classificar elementos que não se enquadravam nas categorias predefinidas, permitindo a construção de novas classificações a partir dos dados observados. Como resultado desse processo, as diretrizes foram agrupadas em oito categorias, a saber: (1) Compreensão do código; (2) Depuração de código; (3) Navegação no código; (4) Edição de código; (5) *Skimming*⁴ de código; (6) Compreensão da Saída; (7) Sobrecarga auditiva; e, (8) Leitura do código-fonte.

Cada categoria reúne um conjunto de barreiras ou limitações enfrentadas por estudantes com deficiência visual ao interagir com IDEs por meio de leitores de tela, e está associada a uma ou mais diretrizes que contêm recomendações para orientar o desenvolvimento de ambientes mais acessíveis a esse público. A descrição detalhada de cada categoria é apresentada na Subseção 3.4.

As diretrizes que compõem cada categoria foram estruturadas com base na organização proposta por [WCAG 2.2 2023] e por Britto and Pizzolato (2018), e

⁴Não foi encontrada uma tradução adequada para o termo "*Skimming*", preferindo-se mantê-lo em língua inglesa.

contemplam os seguintes tópicos: (1) Descrição da diretriz; (2) Critérios de sucesso; (3) Por que fazer?; (4) Como fazer?; e (5) Fonte. Da mesma forma, a descrição detalhada do conteúdo abordado em cada um desses tópicos é apresentada na Subseção 3.4.

O conjunto preliminar de diretrizes voltadas a estudantes com deficiência visual está disponível em: <https://elianazen.github.io/DiretrizesAcessibilidadeIDE/recomendacoesPreliminares.html>. Conforme ilustrado na Seção 2, essas diretrizes foram avaliadas em duas etapas, correspondentes à realização de dois Estágios de Validação, detalhados na Subseção 3.3, a seguir.

3.3. Validação e Refinamento das Diretrizes

Considerando que diretrizes podem apresentar contradições e incoerências, Nicolle and Abascal (2001) recomendam verificar sua solidez e confiabilidade. Nesse contexto, o Estágio de Validação configura-se como uma fase crítica no processo de elaboração de diretrizes. Segundo Quiñones et al. (2018), três tipos de avaliação são os mais recomendados para essa etapa: (1) Avaliação heurística; (2) Avaliação por especialistas; e, (3) Testes com usuários.

Nesta Tese de Doutorado, as diretrizes passaram por dois Estágios de Validação e Refinamento (Figura 1). A técnica adotada foi a avaliação por especialistas, envolvendo a participação de profissionais com experiência no domínio da aplicação.

3.3.1. 1ª Etapa de Validação e Refinamento das Diretrizes

Na primeira etapa do Estágio de Validação realizada nesta Tese de Doutorado (Figura 1), buscou-se validar a versão preliminar das recomendações propostas com a participação de estudantes de cursos superiores da área de Computação. Foram convidados a participar os estudantes com deficiência visual que já haviam se envolvido nas etapas anteriores da pesquisa (Estágio Exploratório), bem como alguns estudantes do Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas (ADS), do Instituto Federal Farroupilha Campus São Vicente do Sul (RS).

A escolha da amostra ocorreu por conveniência, que ocorre quando os elementos são selecionados por estarem mais disponíveis para participar do estudo [Gil et al. 2002]. Os estudantes de ADS foram convidados porque já haviam cursado a disciplina de Interação Humano Computador (IHC) e possuíam conhecimento prévio sobre os principais métodos de avaliação e acessibilidade de interfaces. Além disso, todos os participantes já dominavam diversos conceitos e técnicas de programação, bem como o uso de diferentes IDEs. Ademais, todos os participantes recebem formação que os capacita a contribuir futuramente tanto para o desenvolvimento de IDEs quanto para outras ferramentas mais acessíveis.

As técnicas selecionadas para a coleta de dados foram: (1) questionário, que permite adquirir informações de maneira padronizada e ampla, permitindo a obtenção de dados sobre as percepções e experiências dos participantes [Gil et al. 2002]; e, (2) grupo focal, uma vez que viabiliza a obtenção de diversas perspectivas e aprofunda a compreensão sobre um tema específico através de discussões em grupo mediadas por

um moderador [Kind 2004]. A coleta de dados forneceu subsídios relevantes para a identificação da necessidade de ajustes no conteúdo das recomendações.

Finalizada esta etapa do Estágio de Validação, o conteúdo das diretrizes passou pelo primeiro ciclo do Estágio de Refinamento. Como resultado, optou-se inicialmente por direcionar o foco das diretrizes exclusivamente às necessidades e preferências do grupo específico de estudantes cegos, especialmente no que se refere aos desafios enfrentados ao utilizar leitores de tela. Essa decisão foi tomada pelo fato de que os leitores de tela foram extensivamente estudados nos estágios anteriores da pesquisa e são comumente utilizados por estudantes cegos. Recursos de TA utilizados especificamente por estudantes com baixa visão, como ampliadores de tela, não foram analisados com a profundidade necessária para serem abordados.

Nesse contexto, a primeira modificação realizada no documento contendo as recomendações foi a alteração do título, que passou a se chamar "Diretrizes de Acessibilidade em Ambientes de Desenvolvimento Integrado (IDEs) para Estudantes Cegos". Além disso, o texto que compõe o corpo do documento também necessitou de ajustes, substituindo-se todas as ocorrências do termo "estudantes com deficiência visual" por "estudantes cegos". Todas as recomendações que estivessem relacionadas a recursos de TA utilizados por estudantes com baixa visão, ou seja, que não estivessem relacionadas ao uso de leitores de tela, foram suprimidas do texto.

Outra contribuição relevante dos participantes foi a identificação da necessidade de incluir recomendações que orientem como os IDEs podem apoiar estudantes cegos na construção de interfaces gráficas. Atendendo a essa demanda, uma nova recomendação foi incorporada à Categoria 6 das Diretrizes, inicialmente intitulada "Compreensão da Saída", abordando a importância de os IDEs oferecerem mecanismos que facilitem a criação de interfaces com componentes visuais. A Diretriz 6.1 foi reformulada com esse novo foco e passou a se chamar "Construção de Interface Gráfica". Já a diretriz anteriormente numerada como 6.1 (Validação da interface gráfica) foi renumerada como 6.2. Para refletir essas alterações, o título da Categoria 6 foi atualizado para "Interface Gráfica de Usuário", ampliando a abrangência de sua descrição e escopo.

A 1ª versão da Diretrizes de Acessibilidade em IDEs para Estudantes Cegos, contendo as alterações realizadas após a 1ª etapa do Estágio de Refinamento, pode ser acessada em <https://elianazen.github.io/DiretrizesAcessibilidadeIDE/1VersaoDiretrizes.html>.

3.3.2. 2ª Etapa de Validação e Refinamento das Diretrizes

Dando continuidade ao processo de validação, a segunda etapa envolveu a avaliação da versão inicial das Diretrizes de Acessibilidade em IDEs para Estudantes Cegos, com o apoio de especialistas no domínio da aplicação. O grupo de participantes incluiu dois egressos e um estudante do Curso de Computação, ambos com deficiência visual, sendo que este último atua profissionalmente como programador há mais de 2 anos. Além disso, participaram um analista de acessibilidade que trabalha na *Google* do Brasil, que também é cego, e um professor de curso superior de Computação que está

envolvido no desenvolvimento da IDE brasileira Portugol Studio⁵ [Noschang et al. 2014]. Esses especialistas contribuíram com suas opiniões sobre o conteúdo das diretrizes, fundamentadas em seu conhecimento e experiência nesta área específica.

Diversos pontos foram identificados como passíveis de aprimoramento, a fim de melhor atender às demandas dos estudantes cegos. As modificações realizadas consideraram não apenas a clareza e precisão das recomendações, mas também sua efetividade prática e o potencial de promover uma experiência de programação mais inclusiva.

Os resultados obtidos nas duas primeiras etapas de validação serviram de base para identificar áreas que requeriam melhorias, com foco em aumentar a eficácia e a aplicabilidade do documento. O principal objetivo foi assegurar maior aderência às necessidades e vivências desses estudantes no uso de IDEs.

A diversidade de perspectivas trazida pelos estudantes e especialistas envolvidos nos Estágios de Validação foi fundamental para ajustar as recomendações, tornando-as mais alinhadas ao contexto de aprendizagem da programação e ao uso dos recursos básicos oferecidos por essas ferramentas.

Nesse processo, foram identificados diversos pontos que exigiram reformulações pontuais. Essas alterações buscaram garantir que as recomendações fossem não apenas claras e precisas, mas também viáveis na prática e capazes de proporcionar uma experiência mais acessível e inclusiva no desenvolvimento de software.

O documento que contém as recomendações contidas na 2ª versão das Diretrizes de Acessibilidade em IDEs para Estudantes Cegos pode ser acessado em <https://elianazen.github.io/DiretrizesAcessibilidadeIDE/2VersaoDiretrizes.html>. A versão final das recomendações é descrito na Subseção 3.4, a seguir.

3.4. Diretrizes de Acessibilidade em IDEs para Estudantes Cegos

As Diretrizes de Acessibilidade em IDEs para Estudantes Cegos são fruto dos ajustes e modificações realizados após a execução dos Estágios de Validação e Refinamento. O documento tem início com uma introdução que contextualiza a motivação por trás da elaboração das recomendações e esclarece que seu foco está em IDEs que oferecem suporte à programação baseada em texto, especialmente no contexto de uso por pessoas cegas que dependem de leitores de tela como TA. A estrutura e a organização das diretrizes também são detalhadas, com o objetivo de facilitar a compreensão do leitor.

O documento apresenta 21 diretrizes distribuídas em oito categorias, que representam o conjunto de barreiras e limitações enfrentadas por pessoas com deficiência visual, a saber:

- Categoria 1. Compreensão do código: relacionada às barreiras encontradas para ler e resumir um código-fonte utilizando leitores de tela.
- Categoria 2. Depuração de código: compreende as barreiras para identificar falhas no software, compreender a origem da falha e determinar a melhor maneira de removê-la ou corrigi-la.

⁵<https://univali-lite.github.io/Portugol-Studio/>

- Categoria 3. Navegação no código: diz respeito às estratégias para se obter um entendimento geral do código, o que ele faz e qual é a sua estrutura, envolvendo barreiras associadas à: leitura linha por linha, em sequência, realizadas pelos leitores de tela; necessidade de procurar informações no código sem perder a posição de foco do cursor; navegação no ambiente de programação; e, localização dos recursos disponibilizados pelos IDEs.
- Categoria 4. Edição de código: abrange as barreiras encontradas durante a escrita do código-fonte, como a dificuldade em identificar o uso da indentação para indicar o nível de escopo, utilização de cores distintas para destacar a sintaxe do código, uso extensivo de caracteres não alfanuméricos e a complexidade das instruções e comandos das linguagens de programação.
- Categoria 5. *Skimming* de código: aborda questões relacionadas ao processo de obter uma visão geral de alto nível do código e utilizar recursos como dobra de código.
- Categoria 6. Interface Gráfica de Usuário: compreende os desafios encontrados na realização de tarefas de desenvolvimento que envolvem a construção de algum componente visual.
- Categoria 7. Sobrecarga auditiva: associado ao estresse decorrente do excesso de informações transmitidas via canal de áudio em uma interface.
- Categoria 8. Leitura de código-fonte: relacionada à pronúncia das palavras reservadas das linguagens de programação e das mensagens de erro, realizada pelos leitores de tela.

Cada Categoria contém uma ou mais Diretrizes que oferecem recomendações para orientar o desenvolvimento de IDEs acessíveis para estudantes cegos. No total, são 21 diretrizes que contêm recomendações aplicáveis durante o processo de concepção, desenvolvimento e avaliação dessas aplicações (Tabela 1).

Cada recomendação é organizada em seções que explicam seu propósito, a motivação subjacente, os requisitos essenciais, além de apresentar exemplos práticos e orientações para implementação, conforme detalhado a seguir:

- Descrição da Diretriz: apresenta um resumo da recomendação;
- Critérios de sucesso: declarações testáveis que visam determinar objetivamente se o conteúdo satisfaz a recomendação.
- Por que fazer?: descreve a importância da orientação para reduzir barreiras de interação para estudantes cegos e quais as dificuldades de interação que ela pode auxiliar a mitigar;
- Como fazer?: contém sugestões de implementação, elaboradas a partir de soluções já implementadas extraídas dos trabalhos obtidos em revisão da literatura, bem como sugestões propostas por estudantes e programadores cegos; e,
- Fonte: referências bibliográficas utilizadas como base para a elaboração das Diretrizes e para sugerir como implementá-las.

Tabela 1. Resumo de categorias e diretrizes

Categoria	Diretrizes
1. Compreensão do Código	Diretriz 1.1 Semântica
2. Depuração de Código	Diretriz 2.1 Informações sobre erros Diretriz 2.2 Variáveis e constantes Diretriz 2.3 Pontos de interrupção
3. Navegação no Código	Diretriz 3.1 Rótulos Diretriz 3.2 Movimentação pelo código Diretriz 3.3 Contexto e nível de escopo Diretriz 3.4 Estratégias de navegação Diretriz 3.5 Numeração de linhas Diretriz 3.6 Atalhos Diretriz 3.7 Ajuda e Documentação
4. Edição de Código	Diretriz 4.1 Espaçamento Diretriz 4.2 Autocompletar Diretriz 4.3 Comentários
5. <i>Skimming</i> de Código	Diretriz 5.1 Dobra de Código Diretriz 5.2 Visão geral do código
6. Interface Gráfica de Usuário	Diretriz 6.1 Construção de Interface Gráfica Diretriz 6.2 Validação da interface gráfica
7. Sobrecarga Auditiva	Diretriz 7.1 Alertas sonoros
8. Leitura de Código-fonte	Diretriz 8.1 Idioma Diretriz 8.2 Leitura contextual

Algumas recomendações incluem um tópico adicional, intitulado "IMPORTANTE", inserido sempre que se faz necessário destacar o alinhamento daquela diretriz com outras recomendações presentes no documento.

Além das diretrizes apresentadas na Tabela 1, o documento inclui uma seção intitulada "Outras Recomendações", que enfatiza a importância de: (1) permitir a personalização dos recursos de acessibilidade conforme as preferências individuais dos usuários; (2) permitir que o sistema possibilite a ativação ou desativação desses recursos a qualquer momento; e, (3) possibilitar o ajuste automático dos recursos de acessibilidade com base no perfil do usuário em uso.

A versão final do documento inclui, ainda, algumas seções adicionais que complementam e organizam as informações, facilitando a compreensão e a aplicação das diretrizes:

- Glossário: explica alguns termos técnicos específicos que podem não ser familiares para todos os leitores; e,
- Referências Bibliográficas: lista todas as fontes utilizadas na elaboração das recomendações.

3.5. Cartilha de Recomendações

A partir dos desafios e barreiras educacionais descritos na Subseção 3.1, identificou-se que a maioria dos obstáculos enfrentados por estudantes com deficiência visual no

aprendizado de programação de computadores está relacionada à falta de compreensão, por parte dos professores, acerca das necessidades e preferências desses alunos. Essa falta de clareza pode influenciar na escolha inadequada dos métodos, recursos e tecnologias utilizados para o ensino dessas disciplinas.

Diante desse contexto, decidiu-se elaborar uma cartilha de orientações para o ensino de Programação de Computadores, voltada a professores que lecionam para estudantes cegos. Com o objetivo de apoiar docentes no processo de inclusão, a cartilha reúne informações sobre os principais desafios enfrentados por estudantes cegos no aprendizado de programação de computadores, além de orientações para a elaboração e seleção de materiais, tarefas e estratégias de avaliação. O conteúdo da cartilha contempla os seguintes tópicos:

1. Apresentação: apresenta os objetivos da cartilha, informa o tipo de licença de uso, define o público-alvo e apresenta uma lista das siglas utilizadas ao longo do documento;
2. Visão geral da deficiência visual: conceitua a deficiência visual e descreve suas diferentes classificações;
3. Desafios enfrentados por estudantes cegos: apresenta os principais desafios educacionais e tecnológicos enfrentados pelos estudantes cegos nas disciplinas de programação de computadores;
4. Estratégias para ensinar programação: destaca algumas estratégias que podem ser adotadas para melhorar a aprendizagem dos estudantes cegos e proporcionar um ambiente de aprendizagem mais inclusivo;
5. Recursos Úteis: lista recursos e ferramentas que podem ser utilizadas para auxiliar no processo de ensino-aprendizagem de programação de computadores por esses estudantes;
6. Considerações finais: aborda a importância de os professores considerarem a diversidade de níveis de familiaridade com TA e as necessidades individuais dos estudantes cegos ao planejar aulas de programação de computadores; e,
7. Referências bibliográficas: lista as fontes das informações consultadas e citadas ao longo do documento.

Atualmente, o documento está passando pelo processo de diagramação e ilustração, com o apoio de profissionais de diferentes áreas do conhecimento. A ideia é disponibilizá-la sob a licença "*Creative Commons* Atribuição – Uso não comercial – Sem derivações 4.0 Internacional" (CC BY-NC 4.0 DEED). Sob este tipo de licença, qualquer pessoa que tenha acesso ao seu conteúdo pode copiá-lo e compartilhá-lo, desde que atribua crédito aos autores, não realize alterações e não utilize a obra para fins comerciais.

O conteúdo da cartilha foi submetido a uma avaliação por meio de um grupo focal composto por profissionais do Instituto Federal Farroupilha, Campus São Vicente do Sul (IFFar-SVS), incluindo pedagogas, professoras de Educação Especial e professores de programação de computadores. Esses profissionais foram selecionados para analisar o material e coletar *feedbacks* a partir de diferentes perspectivas. Enquanto pedagogas e professoras de Educação Especial auxiliam os estudantes com necessidades especiais e orientam os professores sobre as melhores práticas para atendê-los, os professores de programação de computadores têm um papel central no ensino e na formação técnica desses estudantes.

No geral, a Cartilha foi avaliada positivamente, destacando sua relevância e contribuição para o contexto educacional. Os participantes ressaltaram que o documento auxiliaria os professores a compreender melhor as necessidades dos alunos cegos, oferecendo orientações para a seleção de materiais, estratégias de ensino e condução do processo pedagógico, com o objetivo de facilitar o aprendizado de programação de computadores. Foi destacado que a Cartilha apresenta uma visão inicial das demandas desses estudantes e propõe soluções práticas, preparando os docentes para recebê-los de forma mais adequada.

Além disso, os participantes afirmaram que a Cartilha auxiliaria na divulgação das informações a respeito das necessidades de estudantes cegos, tanto para os profissionais envolvidos na sua formação educacional quanto para os próprios estudantes.

Algumas melhorias pontuais para aprimoramento do conteúdo foram elencadas, tais como: a importância de disponibilizá-la em um formato acessível para todas as pessoas, independente de terem deficiência ou não; a necessidade de elaborar um glossário de termos técnicos, para auxiliar outros profissionais que não conhecem programação de computadores e utilizarão a cartilha; complementar a cartilha com uma seção que apresentasse informações sobre "casos de sucesso", ou seja, estratégias e metodologias já adotadas por outros professores e que obtiveram resultados positivos.

O conteúdo da Cartilha produzida pode ser acessado em <https://elianazen.github.io/DiretrizesAcessibilidadeIDE/cartilhaVersaoWeb.html>.

4. Contribuições para a área de IHC

Esta Tese de Doutorado traz contribuições significativas para a área de IHC ao promover o desenvolvimento de sistemas mais acessíveis e fomentar a igualdade no acesso aos recursos educacionais, contribuindo assim para a melhoria da qualidade e da equidade no ensino.

A principal contribuição desta Tese está no aprofundamento do conhecimento sobre os desafios enfrentados por estudantes cegos para aprender a programar e interagir com IDEs. No estudo, esses desafios são sistematizados e soluções concretas são propostas, culminando na elaboração de um conjunto de diretrizes de domínio específico, que visam apoiar o desenvolvimento de IDEs mais acessíveis.

Ao mapear esses desafios e propor soluções concretas, este estudo avança significativamente na compreensão do problema e apresenta, de forma inédita, um conjunto de diretrizes específicas para subsidiar o desenvolvimento de IDEs mais acessíveis. Tal contribuição destaca a originalidade desta Tese de Doutorado.

Do ponto de vista prático, as diretrizes elaboradas podem ser utilizadas por desenvolvedores e instituições de ensino como base para o aprimoramento de ferramentas educacionais e profissionais. Elas também podem ser transformadas em recursos de apoio, como listas de verificação ou ferramentas de diagnóstico, que auxiliem na incorporação da acessibilidade ao longo do processo de desenvolvimento de software.

A pesquisa foi conduzida com base em uma metodologia que apresenta um protocolo claro e organizado, voltado especificamente para a elaboração de diretrizes. A diversidade de métodos empregados no estudo (como Revisão Sistemática da Literatura,

revisão da literatura *ad hoc*, entrevistas, questionários e grupo focal), evidencia uma abordagem abrangente para a pesquisa em IHC, que pode ser replicada por outros pesquisadores interessados em investigar temas semelhantes no futuro.

Tanto as "Diretrizes de Acessibilidade em IDEs para Estudantes Cegos" quanto a "Cartilha de Orientações para o Ensino de Programação para Estudantes Cegos" tendem a promover a inclusão desses estudantes nos cursos de Computação e, consequentemente, no mercado de trabalho. Acredita-se que ampliação e a valorização da participação desses estudantes nos cursos de computação não apenas estimulam a diversidade e a igualdade de oportunidades, mas também impulsionam o avanço da Ciência e da Tecnologia, além de estimular a inovação e o progresso rumo à criação de um mundo digital mais inclusivo e acessível para todos.

5. Considerações Éticas

Ao longo da realização desta Tese de Doutorado, foram conduzidas uma Revisão Sistemática da Literatura, além de questionários e entrevistas para gerar ideias iniciais para a proposta. Posteriormente, novos questionários e um grupo focal foram utilizados para avaliar a solução desenvolvida.

Todas as etapas da pesquisa que envolveram a participação de usuários foram conduzidas com a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Instituto Federal Farroupilha (IFFar), conforme os Pareceres Consubstanciados n.º 54297421.9.0000.557, de 2022, e n.º 68361023.1.0000.5574, de 2023. O CEP revisou minuciosamente os objetivos da pesquisa, as atividades a serem desenvolvidas, seus riscos e benefícios, além de outras informações relevantes de cada estudo.

Previamente ao início de cada etapa do estudo, os participantes foram devidamente informados sobre os objetivos da pesquisa, o contexto, as atividades que seriam realizadas, os riscos potenciais, os benefícios de sua participação e seu direito à participação voluntária. Foi enfatizado que poderiam desistir de participar do estudo a qualquer momento, sem necessidade de explicação ou justificativa, podendo também retirar o seu consentimento a qualquer momento, sem qualquer prejuízo ou sanção.

Todos os participantes formalizaram seu consentimento por meio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e, quando aplicável, do Termo de Uso de Imagem e/ou Som da Voz (TUIV), antes do início dos estudos conduzidos. Na etapa de entrevistas, que contou com a participação de estudantes e egressos com deficiência visual de cursos da área de Computação, os participantes receberam antecipadamente o roteiro da entrevista, bem como o TCLE e o TUIV, de modo que pudessem tomar conhecimento prévio do conteúdo a ser abordado e se informar adequadamente. Antes da realização das entrevistas, todos confirmaram seu consentimento verbalmente, que foi registrado em áudio e vídeo. Para garantir a confidencialidade, os participantes sempre foram identificados por códigos únicos (por exemplo: P1, P2) em todos os artigos publicados, bem como no texto da Tese de Doutorado.

6. Conclusão

A promoção da inclusão e da igualdade de acesso aos sistemas interativos por pessoas com deficiência tem sido uma preocupação constante na área de IHC, que vem empreendendo

esforços significativos em diferentes frentes para tornar a tecnologia mais acessível. Destacam-se, nesse contexto, o desenvolvimento de recursos de TA e a criação de normas e diretrizes voltadas ao design de sistemas acessíveis. No entanto, apesar dos avanços alcançados, ainda persistem desafios importantes para assegurar que os sistemas interativos sejam, de fato, acessíveis a todas as pessoas.

No contexto educacional, estudantes com deficiência ainda enfrentam obstáculos que dificultam tanto o ingresso quanto a permanência e a conclusão dos estudos. Esses desafios podem surgir em todas as etapas da formação, desde o acesso aos materiais didáticos até a realização de atividades e a interação com professores e colegas.

Nos cursos de Computação, os obstáculos enfrentados por estudantes cegos podem dificultar ou até impedir o aprendizado de disciplinas fundamentais, como a programação. Considerando que essas disciplinas são centrais para a resolução de problemas, o desenvolvimento de software e a criação de soluções tecnológicas, tais barreiras impactam diretamente a formação acadêmica e o futuro profissional desses estudantes.

Compreender os desafios enfrentados por estudantes cegos em disciplinas de programação é essencial para promover sua inclusão nos cursos de Computação e no mercado de trabalho em tecnologia. Valorizar a participação de pessoas com deficiência contribui para a diversidade, impulsiona a inovação e favorece a construção de um mundo digital mais acessível. Com esse propósito, esta pesquisa teve como objetivo: "Estabelecer um conjunto de Diretrizes de Acessibilidade para apoiar o desenvolvimento de IDEs acessíveis a estudantes cegos".

A realização do estudo foi guiada pelos objetivos específicos apresentados na Seção 1 e teve como foco a seguinte questão de pesquisa: "Quais estratégias devem ser adotadas para promover a acessibilidade em Ambientes de Desenvolvimento Integrado para estudantes com deficiência visual?". Os resultados obtidos evidenciam que o objetivo proposto nesta Tese de Doutorado foi plenamente atingido.

6.1. Principais Contribuições

A principal contribuição desta Tese é o conjunto de Diretrizes de Acessibilidade em IDEs para estudantes cegos, elaborado para orientar desenvolvedores e pesquisadores. A pesquisa também permitiu analisar barreiras no uso de IDEs e no aprendizado de programação, a partir de múltiplas perspectivas, incluindo estudantes, profissionais e professores. Constatou-se que os IDEs ainda carecem de acessibilidade adequada para pessoas cegas que utilizam leitores de tela e que, embora existam diretrizes e normas gerais de acessibilidade, elas não contemplam as especificidades desses ambientes. Esse cenário pode ser explicado, em parte, pelo fato de que a maioria dos profissionais envolvidos no desenvolvimento de IDEs possui visão normal, o que limita a compreensão das reais necessidades desses usuários.

Destacou-se a importância de conscientizar e capacitar professores para criar um ambiente de aprendizagem inclusivo para esses estudantes cegos, pois compreender as necessidades e preferências desses estudantes impacta na escolha adequada de estratégias e ferramentas para o ensino de programação. Além disso, ficou evidente que todos os profissionais envolvidos devem receber formação sobre os recursos utilizados para programar e as possibilidades de configuração adequada de TA. Os estudantes, por outro

lado, precisam de meios acessíveis para descobrir recursos que eles desconhecem, mas que são essenciais ao seu aprendizado.

Como o aprendizado de programação é um processo gradual, ocorrendo em etapas, acredita-se que a percepção da necessidade de recursos de acessibilidade também se desenvolva progressivamente. Em outras palavras, estudantes podem identificar quais ferramentas precisam à medida que avançam no aprendizado, e algumas delas podem se tornar menos úteis com a aquisição de experiência. Por isso, é essencial que esses recursos possam ser ativados ou desativados conforme as preferências individuais. Por fim, acredita-se que as diretrizes elaboradas não beneficiam apenas estudantes cegos, mas também podem melhorar a interação e o desempenho em programação de outros estudantes e desenvolvedores profissionais.

Como resultado do desenvolvimento da pesquisa apresentada nesta Tese de Doutorado, até o momento da submissão deste artigo foram publicados os seguintes estudos:

- Artigo apresentado e publicado no *XVIII Brazilian Symposium on Information Systems*: "Assistive technology to assist the visually impaired in the use of ICTs: A systematic literature review" (2022), [Zen et al. 2022].
- Artigo publicado no *iSys - Brazilian Journal of Information Systems*: "Tecnologia Assistiva para auxiliar a interação entre pessoas com deficiência visual e sistemas computacionais: Um Mapeamento Sistemático da Literatura" (2023), [Zen et al. 2023c].
- Artigo apresentado e publicado nos Anais do XXII Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC): "Understanding the Accessibility Barriers Faced by Learners with Visual Impairments in Computer Programming" (2023), [Zen et al. 2023b].
- Artigo apresentado e publicado nos Anais do *Workshop* de Teses e Dissertações do XXII Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (WTD-IHC): "Estratégias de Acessibilidade em IDEs para Pessoas com Deficiência Visual" (2023), [Zen e Tavares 2023c].
- Artigo apresentado e publicado nos Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE): "Experiências Educacionais em Disciplinas de Programação de Computadores: uma Análise Qualitativa na Perspectiva dos Estudantes com Deficiência Visual" (2023), [Zen et al. 2023a].
- Artigo apresentado e publicado nos Anais Estendidos do XII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (STUDX-CBIE): "Estratégias de Acessibilidade em IDEs para Estudantes com Deficiência Visual" (2023), [Zen e Tavares 2023b].
- Artigo apresentado e publicado nos Anais do Encontro Anual de Tecnologia da Informação (EATI): "Normas e Diretrizes de Acessibilidade para Sistemas Digitais: um Levantamento das Principais Recomendações para Usuários com Deficiência Visual" (2023) [Martins et al. 2023].
- Artigo apresentado e publicado nos Anais do Encontro de Pós-Graduação (ENPOS) da 9ª Semana Integrada UFPEL (SIIEPE): "Acessibilidade em ambientes de desenvolvimento integrado para pessoas com deficiência visual" (2023), [Zen e Tavares 2023a].
- Artigo publicado na Revista Novas Tecnologias na Educação (RENOTE): "Desafios e Percepções sobre Acessibilidade em Ambientes de Desenvolvimento

Integrado” (2023), [Zen et al. 2023d].

- Artigo apresentado e publicado nos Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE): "Recomendações para o Ensino de Programação de Computadores para Estudantes Cegos” (2024), [Zen et al. 2024].

6.2. Limitações da Pesquisa

Ao longo dos quatro anos da pesquisa, foram enfrentadas algumas limitações, especialmente devido à pandemia de COVID-19, que impossibilitou o contato presencial e exigiu adaptação para métodos remotos para coleta de dados nos 2 primeiros anos. Além disso, houve restrições de tempo e dificuldades no recrutamento de participantes, indicando a necessidade de futuras avaliações com mais especialistas para assegurar maior clareza e consistência nas diretrizes.

Além disso, as barreiras e desafios identificados foram coletados com um grupo pequeno de estudantes, professores e profissionais da área de desenvolvimento de software (com e sem deficiência visual), e a partir de uma revisão da literatura *ad hoc*. Seria importante ampliar as entrevistas ou questionários para incluir mais pessoas desses perfis e outros profissionais envolvidos no projeto e implementação de IDEs.

6.3. Direcionamento para Trabalhos Futuros

Como perspectivas de pesquisas futuras, seria interessante aprofundar a compreensão dos desafios enfrentados por estudantes cegos em IDEs, gerando novos requisitos de acessibilidade e usabilidade para esses sistemas. Da mesma forma, novas etapas de validação com especialistas e desenvolvedores também ajudariam a aprimorar o conteúdo das recomendações.

A apresentação e disponibilização das Diretrizes e da Cartilha, atualmente publicadas por meio de um documento estático hospedado no GitHub⁶, também pode ser aprimorada para contemplar a criação de *websites* dedicados, que proporcionariam melhor acesso a professores, analistas, desenvolvedores e pesquisadores interessados.

Quanto à cartilha, seria interessante a inclusão de uma seção relatando experiências de educadores no ensino de programação para estudantes cegos, oferecendo exemplos práticos e estratégias úteis. Também seria importante permitir contribuições contínuas de outros profissionais para atualizar e enriquecer seu conteúdo. Além disso, seria importante verificar que tipos de alertas sonoros são mais adequados para comunicar quais tipos de informação e se as recomendações relacionadas à pronúncia do código-fonte impactariam de maneira positiva na aprendizagem dos estudantes.

Por fim, novos estudos que explorassem a acessibilidade de funcionalidades especializadas dos IDEs, como ferramentas de controle de versionamento, poderiam contribuir tanto para a formação de estudantes em semestres mais avançados dos cursos quanto para a interação de profissionais cegos que fazem uso dessas ferramentas.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e do Instituto Federal Farroupilha (IFFar), contando também com o auxílio de ferramentas baseadas em Inteligência Artificial para a revisão gramatical e textual.

⁶<https://github.com/>

Referências

- Barbosa, S. e Silva, B. (2010). *Interação humano-computador*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Bardin, L. (2015). *Análise de Conteúdo*. São Paulo: Edições 70.
- Gerhardt, T. E. e Silveira, D. T. (2009). Métodos de pesquisa. universidade aberta do brasil-uab/ufrgs. *Porto Alegre: Editora da UFRGS*.
- Gibbs, G. (2009). *Análise de dados qualitativos: coleção pesquisa qualitativa*. Porto Alegre: Bookman.
- Gil, A. C. et al. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa*, volume 4. São Paulo: Atlas.
- Gomes, M. et al. (2015). Um estudo sobre erros em programação-reconhecendo as dificuldades de programadores iniciantes. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 4, page 1398.
- Hermans, F. e Aldewereld, M. (2017). Programming is writing is programming. In *Companion to the first International Conference on the Art, Science and Engineering of Programming*, pages 1–8.
- Kind, L. (2004). Notas para o trabalho com a técnica de grupos focais. *Psicologia em revista*, 10(15):124–138.
- Lahtinen, E., Ala-Mutka, K., e Järvinen, H.-M. (2005). A study of the difficulties of novice programmers. *Acm sigcse bulletin*, 37(3):14–18.
- Leporini, B. e Paternò, F. (2004). Increasing usability when interacting through screen readers. *Universal access in the information society*, 3(1):57–70.
- Martins, L. C. G., Pedroso, P. P., Zen, E., Rissetti, G., da Costa, V. K., e Tavares, T. A. (2023). Normas e diretrizes de acessibilidade para sistemas digitais: um levantamento das principais recomendações para usuários com deficiência visual. *Anais do Encontro Anual de Tecnologia da Informação*, 12(1):52–52.
- Mountapmbeme, A., Okafor, O., e Ludi, S. (2022). Addressing accessibility barriers in programming for people with visual impairments: A literature review. *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*, 15(1):1–26.
- Murillo-Morales, T. e Miesenberger, K. (2020). Audial: A natural language interface to make statistical charts accessible to blind persons. In *International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, pages 373–384. Springer.
- Noschang, L. F. et al. (2014). Portugol studio: Uma IDE para iniciantes em programação. In *Anais do XXII Workshop sobre Educação em Computação*, pages 1–10. SBC.
- Paciello, M. (2000). *Web accessibility for people with disabilities*. Kansas, USA: CRC Press.
- Quiñones, D., Rusu, C., e Rusu, V. (2018). A methodology to develop usability/user experience heuristics. *Computer standards & interfaces*, 59:109–129.
- Rajaselvi, M. et al. (2021). A survey of programming editors for the visually impaired. *Accessed: Aug, 12*.

- Sánchez, J. e Aguayo, F. (2006). Apl: Audio programming language for blind learners. In *International Conference on Computers for Handicapped Persons*, pages 1334–1341. Springer.
- Sharma, M. R. (2020). A short communication on computer programming languages in modern era. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 9(9):50–60.
- Thiollent, M. (2022). *Metodologia da pesquisa-ação*. São Paulo: Cortez.
- TORRES, J. P., COSTA, C. S. L. d., e LOURENÇO, G. F. (2016). Substituição sensorial visuo-tátil e visuo-auditiva em pessoas com deficiência visual: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Educação Especial*, 22:605–618.
- WCAG 2.2, W. W. W. C. (2023). Web content accessibility guidelines (wcag) 2.2. (Accessed on 01/03/2023).
- Zen, E. (2024). *Diretrizes de Acessibilidade em Ambientes de Desenvolvimento Integrado para Estudantes Cegos*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Pelotas.
- Zen, E., da Costa, V. K., e Tavares, T. A. (2023a). Experiências educacionais em disciplinas de programação de computadores: uma análise qualitativa na perspectiva dos estudantes com deficiência visual. In *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 960–971. SBC.
- Zen, E., da Costa, V. K., e Tavares, T. A. (2023b). Understanding the accessibility barriers faced by learners with visual impairments in computer programming. In *Anais do XXII Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais*. SBC.
- Zen, E. et al. (2022). Assistive technology to assist the visually impaired in the use of icts: A systematic literature review. In *XVIII Brazilian Symposium on Information Systems*, pages 1–8.
- Zen, E. et al. (2023c). Tecnologia assistiva para auxiliar a interação entre pessoas com deficiência visual e sistemas computacionais: Um mapeamento sistemático da literatura. *iSys - Brazilian Journal of Information Systems*, 16(1):6:1–6:27.
- Zen, E. e Tavares, T. A. (2023a). Acessibilidade em ambientes de desenvolvimento integrado para pessoas com deficiência visual. *Anais do XXVII Encontro de Pós-Graduação (ENPOS) da UFPEL*.
- Zen, E. e Tavares, T. A. (2023b). Estratégias de acessibilidade em ides para estudantes com deficiência visual. In *Anais Estendidos do XII Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, pages 223–228. SBC.
- Zen, E. e Tavares, T. A. (2023c). Estratégias de acessibilidade em ides para pessoas com deficiência visual. In *Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC)*, pages 199–203. SBC.
- Zen, E., Tavares, T. A., e da Costa, V. K. (2023d). Desafios e percepções sobre acessibilidade em ambientes de desenvolvimento integrado. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, 21(2):244–253.
- Zen, E., Tavares, T. A., da Costa, V. K., Riseti, G., e Martins, L. C. G. (2024). Recomendações para o ensino de programação de computadores para estudantes cegos. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, pages 2013–2024. SBC.