Submission date: 12/09/2022
Resubmission date: 18/01/2023
Camera ready submission date: 27/02/2023

1st round notification: 29/11/2022
2nd round notification: 24/02/2023
Available online: 01/05/2023
Publication date: 01/05/2023

Section: extended version
Extended versions of selected papers from the XVIII Brazilian Symposium on Information Systems (SBSI 2022)

Tecnologia Assistiva para auxiliar a interação entre pessoas com deficiência visual e sistemas computacionais: Um Mapeamento Sistemático da Literatura

Assistive Technology to help the interaction between visually impaired and computer systems: A Systematic Literature Mapping

Eliana Zen[1,2], Marcelo da Silveira Siedler[1,3], Vinicius Kruger da Costa[1,4], Tatiana Aires Tavares[1]

[1]Programa de Pós-Graduação em Computação (PPGC) – Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)
Pelotas, RS - Brasil

[2]Instituto Federal Farroupilha (IFFar)
São Vicente do Sul, RS – Brasil

[3]Instituto Federal Sul-riograndense (IFSul)
Bagé, RS – Brasil

[4]Instituto Federal Sul-riograndense (IFSul)
Pelotas, RS – Brasil

{eliana.zen, marcelo.siedler, viniciusdacosta, tatiana}@inf.ufpel.edu.br

Abstract. *Assistive Technology (AT) refers to a set of resources and services designed to help people with disabilities, providing or expanding their skills, enabling they to carry out activities with comfort and autonomy. For visually impaired, the Assistive Technology (AT) can guarantee access to ICTs, as resources such as screen and mouse may not be useful. Thus, this work describes a Systematic Literature Mapping, seeking to identify works related to AT developed to help visually impaired in the use of digital systems. As a result, 108 AT-related articles developed for the visually impaired during an interaction with ICTs were obtained. Reading these works, select 12 articles related to learning computer programming and the use of software development tools by visually impaired. It was found that most of the TA resources developed focus only on the extension of the visual interface.*

Keywords. *Human-Computer Interaction, Assistive Technology, Accessibility, Visual Impairment*

Cite as: Zen, E., Siedler, M. da S., Costa, V. K. da & Tavares, T. A. (2023). Assistive Technology to help the interaction between visually impaired and computer systems: A Systematic Literature Mapping (Tecnologia Assistiva para auxiliar pessoas com deficiência visual no uso de TICs: Uma Revisão Sistemática da Literatura). iSys: Revista Brasileira de Sistemas de Informação (Brazilian Journal of Information Systems), 16(1), 6:1-6:27. DOI: 10.5753/isys.2023.2890

Resumo. *Tecnologia Assistiva (TA) refere-se a um conjunto de recursos e serviços destinados a auxiliar pessoas com deficiência, proporcionando ou ampliando suas habilidades, capacitando-as para a realização de atividades com conforto e autonomia. Para pessoas com deficiência visual, uma Tecnologia Assistiva (TA) pode garantir o acesso às TICs, já que recursos como tela e mouse podem não ser úteis. Neste sentido, este trabalho descreve um Mapeamento Sistemático da Literatura, buscando identificar trabalhos relacionados à TA desenvolvidos para auxiliar pessoas com deficiência visual no uso de sistemas digitais. Como resultado, foram obtidos 108 artigos relacionados a TA desenvolvidos para auxiliar pessoas com deficiência visual durante a interação com TICs. A leitura dos trabalhos permitiu selecionar 12 artigos relacionados ao aprendizado de programação de computadores e ao uso de ferramentas de desenvolvimento de software por pessoas com deficiência visual. Verificou-se que a maioria dos recursos de AT desenvolvidos focam apenas na extensão da interface visual.*

Palavras-Chave. *Interação Humano-Computador, Tecnologia Assistiva, Acessibilidade, Deficiência Visual*

1. Introdução

A deficiência é tema dos direitos humanos de relevância mundial, discutido internacionalmente através de tratados, convenções, eventos e legislações específicas [Guimarães et al. 2016]. No Brasil, segundo o último censo demográfico, realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), [IBGE 2010], 23,9% da população possuía pelo menos uma das deficiências investigadas: visual, auditiva, motora e mental ou intelectual. A deficiência visual apresentou a maior ocorrência, afetando 18,6% da população brasileira. Globalmente, o número de pessoas de todas as idades com deficiência visual é estimado em 285 milhões, dos quais 39 milhões são cegos [Pascolini and Mariotti 2012].

O desenvolvimento de recursos e outros elementos de Tecnologia Assistiva (TA) têm propiciado a valorização, a integração e a inclusão dessas pessoas [CAT 2009]. Entretanto, em muitos casos, mesmo que apoiados por Tecnologia Assistiva, pessoas com deficiência visual podem se deparar com inúmeras dificuldades ao interagir com as interfaces digitais, visto que a maioria dos recursos disponíveis foca apenas na extensão da interface gráfica tradicional [Hadwen-Bennett et al. 2018].

Para atender as necessidades deste público é necessária a utilização de sistemas digitais que possam ser reconhecidos e acessados por softwares que permitam leitura com voz sintetizada, ampliação de caracteres, configuração de diferentes níveis de contrastes, impressão em Braille [Civil 2015], bem como terminais ou *Displays* Braille, interfaces hápticas, além de aplicativos para reconhecimento de texto e imagens. Na área de Computação, no entanto, principalmente quando se fala em programação de computadores, muitas vezes as dificuldades encontradas pelas pessoas com deficiência visual não são sanadas apenas com a utilização destes recursos [Hadwen-Bennett et al. 2018].

Neste sentido, o presente trabalho descreve um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) realizado no intuito de verificar o que tem sido desenvolvido para prover acessibilidade para pessoas com deficiência visual em sistemas computacionais. O estudo se baseou na *Theory of Interactive Media Effects*, [TheorizeIt.org 2022], que defende que as características da mídia, assim como a fonte e o conteúdo das mensagens, afetam o engajamento e a interação dos indivíduos envolvidos na comunicação.

São descritas as principais limitações de recursos de TA utilizados por pessoas com deficiência visual para acessar sistemas digitais, bem como as contribuições, oportunidades e desafios relacionados ao desenvolvimento de TA para promover a acessibilidade desses usuários em Sistemas de Informação. Além disso, dentre as diferentes lacunas de pesquisa identificadas no MSL, os trabalhos obtidos deixam claro a necessidade de se realizar mais pesquisas relacionadas ao aprendizado de conceitos relacionados à programação de computadores e utilização de ferramentas de desenvolvimento de software por pessoas com deficiência visual.

Este MSL é uma versão estendida do artigo publicado no Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (2022). Esta versão apresenta uma descrição mais detalhada dos conceitos envolvidos na temática de pesquisa, alguns estudos secundários semelhantes ao trabalho realizado, bem como um levantamento a respeito dos Métodos e Técnicas de Avaliação adotados nos trabalhos obtidos. Importante destacar que este artigo integra um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) que envolveu a busca por TA para pessoas com deficiência visual e com Transtorno do Espectro Autista (TEA), desenvolvido no ano de 2021, e já publicado em [Zen et al. 2022] e [Siedler et al. 2022].

O trabalho está organizado da seguinte forma: conceitos, recomendações e legislação relacionados à Acessibilidade e Tecnologia Assistiva para pessoas com deficiência visual são apresentados na Seção 2; a Seção 3 apresenta alguns estudos secundários relacionados à temática adotada; a Seção 4 descreve o protocolo definido para a execução do MSL realizado; os resultados obtidos com a aplicação do protocolo definido são descritos na Seção 5; a Seção 6 especifica os trabalhos obtidos relacionados a TA associada aos processos de desenvolvimento de software, ensino de lógica de programação, raciocínio lógico e pensamento computacional por pessoas com deficiência visual; a Seção 7 especifica as metodologias e técnicas de avaliação utilizados nos trabalhos retratados na Seção 6; a Seção 8 discute algumas contribuições a respeito dos trabalhos obtidos; e, por fim, considerações finais e trabalhos futuros são apresentados na Seção 9.

2. Fundamentação Teórica

Este Capítulo apresenta os principais conceitos teóricos relacionados ao tema de pesquisa abordada neste trabalho: Deficiência Visual, Usabilidade, Acessibilidade, Tecnologia Assistiva, bem como as principais Normas, Diretrizes e Legislação sobre acessibilidade em sistemas interativos.

2.1. Deficiência Visual

A visão é um canal privilegiado de acesso ao mundo, constituindo a base de uma parte significativa das aprendizagens humanas [Mendonça et al. 2008]. Através da visão uma

pessoa pode capturar uma série de informações do ambiente de forma rápida, global e sem grandes esforços [Torres et al. 2016]. Pessoas com deficiência visual precisam utilizar outros sentidos, principalmente tato e audição, para apreender as informações disponibilizadas em um determinado ambiente.

O termo Deficiência Visual se refere à perda total ou parcial, congênita ou adquirida, da visão, podendo ser dividida em dois grupos [Dias and Dias 2019]: cegueira e baixa visão.

A Cegueira ocorre quando há perda total da visão, pouca capacidade de enxergar [Dias and Dias 2019], até a ausência de projeção de luz [Brasil 2006]. A Baixa Visão ou Visão Subnormal, por sua vez, é caracterizada pelo comprometimento do funcionamento visual dos olhos, mesmo após tratamento ou correção [AAO.org 2022]. Tanto a deficiência visual moderada quanto a deficiência visual grave são agrupadas sob o termo "baixa visão": baixa visão em conjunto com cegueira representam todos os tipos de deficiência visual [Khan et al. 2015].

Duas pessoas com a mesma deficiência visual podem apresentar níveis de funcionamento visual muito distintos. Além disso, uma mesma pessoa quando sujeita a diferentes condições ambientais, pode apresentar diferentes níveis de funcionamento visual, pois o funcionamento visual depende não só das funções visuais, mas da interação entre estas e fatores pessoais e ambientais [Mendonça et al. 2008].

É de fundamental importância, portanto, compreender como se dá a interação de usuários com deficiência visual e baixa visão com o computador [Abreu et al. 2019]. Novos métodos/abordagens/dispositivos têm sido desenvolvidos, com o objetivo de reduzir as barreiras enfrentadas por esses indivíduos, resultando no desenvolvimento de diferentes recursos de Tecnologia Assistiva para auxiliar essas pessoas [Torres et al. 2016].

No entanto, entender o problema é apenas metade da batalha [Paciello 2000], pois a maioria dos pesquisadores, designers e desenvolvedores tem visão normal e, portanto, geralmente possui uma compreensão limitada das necessidades das pessoas com deficiência visual. Os projetos podem falhar facilmente quando as necessidades e preferências desses usuários não são levadas em consideração [Mattheiss et al. 2017]. Uma pessoa que não tem deficiência, provavelmente não está familiarizada com as necessidades de um indivíduo com deficiência [Paciello 2000]. Neste sentido, torna-se fundamental envolver pessoas com deficiência visual em todas as etapas de projeto, desenvolvimento e avaliação pode ser fundamental de qualquer sistema interativo.

2.2. Usabilidade e Acessibilidade

A área de Interação Humano-Computador (IHC) oferece uma grande variedade de princípios, diretrizes e heurísticas que especificam critérios para se avaliar e orientar o projeto de sistemas interativos. Dentre eles, pode-se destacar a usabilidade e a acessibilidade.

A usabilidade diz respeito ao conjunto de atributos relacionados com o esforço necessário para o uso de um sistema interativo e à avaliação individual de tal uso, por um conjunto específico de usuários [Zubrow 2004]. No entanto, 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. O critério de acessibilidade, portanto, está relacionado com a capacidade de o usuário acessar o sistema para interagir com ele, sem que a interface imponha obstáculos [Barbosa and Silva 2010].

O conceito de usabilidade é multidimensional, pois pode se referir a diversos aspectos cuja importância dependem do domínio da aplicação [Leporini and Paternò 2004]. A acessibilidade, por outro lado, incorpora a ideia de que todas as pessoas têm direito de serem incluídas na sociedade, independente de deficiências, localização geográfica, barreiras de linguagem ou outros fatores [Geraldo 2016].

Acessibilidade e usabilidade são frequentemente abordadas como duas questões separadas, mas usuários com deficiência precisam ter aplicativos acessíveis e utilizáveis [Leporini and Paternò 2008]. Ao interagir com sistemas computacionais, o usuário emprega [Barbosa and Silva 2010]: (1) sua habilidade motora para agir sobre os dispositivos de entrada; (2) seus sentidos (visão, audição e tato) e capacidade de percepção para identificar as respostas do sistema emitidas pelos dispositivos de saída; e (3) sua capacidade cognitiva, de interpretação e de raciocínio para compreender as respostas do sistema e planejar os próximos passos da interação.

Pode-se afirmar, portanto, que a acessibilidade é uma pré-condição para a usabilidade [Leporini and Paternò 2004]. Contudo, desenvolver interfaces que atendam às diferentes necessidades dos usuários não é uma tarefa trivial, visto que a dificuldade percebida por uma pessoa com deficiência não significa, necessariamente, ser a mesma barreira enfrentada por outras pessoas com a mesma deficiência [da Silva et al. 2016].

No caso de pessoas com deficiência visual, a inclusão de acessibilidade no design da interface é um requisito exigente [Khan and Khusro 2019a]. Constantes avanços tecnológicos têm propiciado às pessoas com deficiência visual mais acesso às informações e serviços, proporcionando maior independência [Mattheiss et al. 2017]. No entanto, é necessário considerar que o modo como as pessoas com deficiência visual, principalmente cegos, se movimentam e operam no computador é significativamente diferente do procedimento adotado por outros indivíduos [Mendonça et al. 2008].

Além disso, mesmo que uma pessoa com deficiência visual esteja apoiada por tecnologia para interagir com um sistema, caso a interface imponha alguma barreira durante o processo de interação, ela não será capaz de aproveitar o apoio computacional oferecido [Barbosa and Silva 2010].

2.3. Tecnologia Assistiva

O termo Tecnologia Assistiva se refere ao conjunto de recursos e serviços que contribuem para a ampliação de habilidades funcionais deficitárias, proporcionando à pessoa com deficiência, independência, qualidade de vida e inclusão social [Bersch 2008]. Trata-se de dispositivos tecnológicos que podem ajudar as pessoas com deficiências físicas ou cognitivas a superar as adversidades pelas quais podem passar quando precisam depender de suas próprias capacidades físicas [Ismaili et al. 2017].

Em outras palavras, TA diz respeito à pesquisa, fabricação, uso de equipamentos, recursos ou estratégias utilizadas para potencializar as habilidades funcionais das pessoas

com deficiência [CAT 2009], podendo ser tanto um recurso desenvolvido pela indústria quanto algo personalizado pelos próprios usuários finais [Albusays et al. 2017].

Recursos de TA são fundamentais para proporcionar a inserção de usuários com deficiência visual no ambiente digital, promovendo a igualdade de oportunidades na sociedade [Guimarães et al. 2016]. Se por um lado os constantes avanços das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) têm proporcionado às pessoas com deficiência visual um melhor e mais amplo acesso às informações e serviços [Mattheiss et al. 2017], a utilização de TA proporciona liberdade e independência para que eles possam realizar tarefas difíceis sem a ajuda de quem enxerga [Albusays et al. 2017].

Dentre os principais recursos de TA voltados a atender as necessidades de usuários com deficiência visual em sistemas interativos, destacam-se: sistemas que possam ser reconhecidos e acessados por softwares que permitam leitura com voz sintetizada, ampliação de caracteres e configuração de diferentes níveis de contrastes [Civil 2015]; terminais ou *Displays* Braille; interfaces hápticas; assistentes virtuais; além de aplicativos para reconhecimento de texto e imagens.

2.4. Normas, Diretrizes e Legislação

Algumas iniciativas têm surgido nos últimos anos no intuito de disponibilizar recomendações para acessibilidade de sistemas interativos. É o caso do *World Wide Web Consortium* (W3C), que lançou a *Web Accessibility Initiative* (WAI), [W3C 1998], com o objetivo de oferecer padrões e materiais de suporte para ajudar desenvolvedores de software a compreender e implementar a acessibilidade, no intuito de tornar a *Web* mais acessível a pessoas com deficiência. A WAI defende que existem grandes benefícios no envolvimento de usuários para um melhor entendimento das questões de acessibilidade, porém alerta para a necessidade de cuidado na generalização das questões identificadas como problemas.

O *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG), [WAI/W3C 2018], publicado pela WAI, contém diretrizes que abrangem um grande conjunto de recomendações que descrevem como desenvolver um site acessível e testar a acessibilidade dos mesmos.

O WAI-ARIA (*Accessible Rich Internet Applications Suite*), [WAI/W3C 2009], por sua vez, define uma maneira de tornar o conteúdo da *Web* e os aplicativos da *Web* mais acessíveis a pessoas com deficiência. Ele ajuda especialmente com conteúdo dinâmico e controles avançados de interface de usuário desenvolvidos com HTML, JavaScript e tecnologias relacionadas. A WAI-ARIA aborda desafios de acessibilidade, definindo maneiras de fornecer funcionalidade à Tecnologia Assistiva, por exemplo.

A ISO/IEC 9241-171, [ISO/IEC 2018], também fornece orientações sobre o projeto de sistemas interativos que alcancem o mais alto nível de acessibilidade possível. Abrange questões associadas ao projeto de software acessível para as pessoas com a mais ampla gama de aptidões físicas, sensoriais e cognitivas, incluindo aquelas que estão temporariamente incapazes, e os idosos.

Além dessas iniciativas, a legislação em muitos países tem reforçado a exigência de cumprimento de diretrizes de acessibilidade no desenvolvimento de sistemas para todos os cidadãos, em especial os usuários com deficiência [Geraldo 2016]. No Brasil, são

exemplos disso o Decreto n.º 5.296, de 2 de dezembro de 2004, [Brasil 2004], que define as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional Técnica de Nível Médio, e a Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015, [Civil 2015], Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência ou Estatuto da Pessoa com Deficiência.

Porém, esses documentos são voltados para uma enorme diversidade de usuários com variadas limitações e necessidades. É preciso conhecer as reais dificuldades enfrentadas por eles de forma a oferecer sistemas e serviços que possam ser utilizados na sua totalidade [Barbosa and Silva 2010].

3. Trabalhos Relacionados

A pesquisa iniciou com a realização de uma busca por trabalhos que apresentassem outras Revisões ou Mapeamentos Sistemáticos da Literatura envolvendo TA para auxiliar a interação com sistemas digitais por pessoas com deficiência visual. Alguns trabalhos semelhantes foram recuperados e são descritos neste Capítulo.

Uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi realizada por [Ashraf et al. 2016]. Os autores buscaram de entender o estado atual dos produtos relacionados às Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), analisando artigos publicados entre 2010 e 2015, no intuito de: (a) analisar os resultados da pesquisa existente sobre o papel das TICs na vida das pessoas com deficiência visual; e, (b) identificar os principais problemas de acessibilidade das TICs abordados na literatura existente. Os resultados obtidos foram classificados em três categorias principais: (a) tecnologia assistiva, (b) acessibilidade eletrônica e (c) interface virtual. Segundo os autores, os principais problemas de acessibilidade das TIC estão relacionados relacionadas a barreiras econômicas e sociais.

O trabalho de [Bhowmick and Hazarika 2017] trata de uma Revisão Sistemática da Literatura que analisou artigos publicados entre os anos de 1994 e 2014. O trabalho apresenta a utilização de TA por pessoas com deficiência visual para realizar tarefas cotidianas. Os autores buscaram identificar: (1) quais áreas abrangem Tecnologia Assistiva para pessoas com deficiência visual; (2) em quais periódicos e conferências são publicadas pesquisas sobre tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual; (3) com que rapidez a tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual está se expandindo como um campo de pesquisa; (4) quais são as comunidades de pesquisa no campo da Tecnologia Assistiva para pessoas com deficiência visual; e, (5) para onde está indo a tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual no futuro.

Por fim, [Hakobyan et al. 2013] analisam a pesquisa e a inovação no campo da Tecnologia Assistiva móvel para pessoas com deficiência visual. O trabalho destaca a necessidade de uma colaboração bem-sucedida entre especialistas clínicos, profissionais da área de ciência da computação e usuários de domínio para aproveitar plenamente os benefícios potenciais de tais tecnologias. São apresentadas pesquisas realizadas para tornar os *smartphones* mais acessíveis para pessoas com deficiência visual, bem como aplicativos assistivos projetados para pessoas com deficiência visual.

Nenhum destes trabalhos identifica os principais recursos de TA utilizados por pessoas com deficiência visual para interagir com sistemas digitais, nem as limitações

encontradas por esses usuários ao interagir tais recursos de TA. Além disso, as publicações obtidas não abrangem os trabalhos publicados nos últimos 5 anos.

4. Metodologia

A pesquisa realizada configura-se como um Mapeamento Sistemático da Literatura, também denominado revisão de escopo (*scoping review*) que, segundo [Moher et al. 2015], é utilizado quando não é necessário responder com profundidade questões específicas, mas obter uma visão geral mais ampla de determinada área.

O software StArt (*State of the Art through Systematic Review*) [Fabbri et al. 2016] foi utilizado de forma a permitir uma melhor sistematização do MSL, uma vez que permite a criação, execução, seleção e extração de dados de modo organizado e processual.

Conforme [Nakagawa et al. 2017], o protocolo do MSL consiste em definir questões de pesquisa, estratégia de busca, critérios por meio dos quais os estudos serão avaliados para inclusão ou exclusão e estratégias para seleção, extração e sumarização dos dados.

O protocolo de busca foi desenvolvido e executado entre os meses de Janeiro e Maio de 2021 nos seguintes repositórios: (1) *ACM Digital Library*, (2) *IEEE Xplore Digital Library*, (3) *ScienceDirect* e (4) *Springer*. Eles foram selecionados por se tratarem de alguns dos principais repositórios da área de Computação.

O objetivo principal foi elencar os principais recursos de Tecnologia Assistiva para acesso a sistemas computacionais. Com base nesse objetivo elencou-se uma pergunta geral a ser respondida a partir da leitura dos artigos levantados:

Como a Tecnologia Assistiva auxilia pessoas com deficiência visual ou com Transtorno do Espectro Autista no uso das Tecnologias de Informação e Comunicação?

A partir da definição do objetivo e da questão de pesquisa, foi especificado um conjunto de palavras-chave e gerada a seguinte String de busca:

("human-computer interaction"OR HCI) AND ("assistive technology"OR accessibility) AND (Autism OR "asperger syndrom"OR "blind"OR "visual impairement"OR blindness) AND (framework OR platform OR API OR evaluation OR test OR guidelines OR protocols)

Foi necessário, no entanto, adaptar a sintaxe particular da estrutura de String de busca para cada um dos repositórios citados anteriormente, de forma a atender suas especificidades.

No intuito de limitar a quantidade de trabalhos recuperados nesta etapa e na extração dos dados foram considerados os seguintes critérios de inclusão:

1. Artigos completos disponíveis nas bases de dados;
2. Artigos publicados nos anos de 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020;
3. Tratar de tecnologia assistiva para autismo ou deficiência visual;

Adicionalmente, foram listados alguns critérios de exclusão, quais seguem:

1. *Posters*, Resumos e Capítulos de Livros;
2. Trabalhos que abordam tecnologias voltadas para tratamento da deficiência;
3. Não ser da área de Computação e Engenharia;
4. Não ter sido publicado nos anos de 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020;
5. Não ser um estudo primário;
6. Não focar em acessibilidade digital.

O MSL foi realizada no intuito de identificar pesquisas recentes em termos de Tecnologia Assistiva voltada à interação de usuários com sistemas de informação. Cada um dos pesquisadores que participou do MSL buscava estudar um entre dois diferentes tipos de deficiência: Deficiência Visual ou Transtorno do Espectro Autista. No intuito de otimizar o tempo de realização do MSL e realizar uma revisão por uma equipe composta por no mínimo 2 avaliadores, optou-se por trabalhar em conjunto, executando as etapas de busca, coleta e análise dos trabalhos abordando esses dois tipos de deficiência. Cada pesquisador, na última etapa do MSL, analisou os artigos relacionados a proposta que lhe interessava.

Para o propósito deste trabalho, são apresentados os resultados referentes ao desenvolvimento de TA para auxiliar pessoas com deficiência visual.

5. Resultados

A execução da busca, realizada a partir do protocolo descrito na Seção 4, resultou em 2911 artigos, os quais foram recuperados e armazenados na ferramenta StArt. A Figura 1 apresenta o conjunto total de artigos resultante desta fase inicial, classificados de acordo com o repositório de busca utilizado.

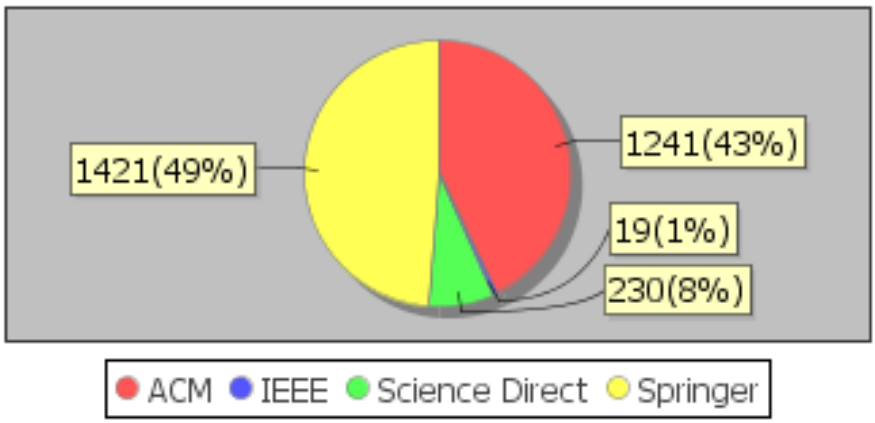

Figura 1. Distribuição dos artigos por Repositório

Os artigos recuperados foram submetidos a um primeiro filtro, onde foram analisadas as informações contidas no título, palavras-chave e resumo dos trabalhos, com base nos critérios de inclusão e exclusão listados na seção 4. Este primeiro filtro resultou em um total de 713 artigos selecionados, que foram submetidos a um segundo filtro, onde foram analisados os Capítulos Introdução e Conclusão. Como resultado, foram selecionados 256 trabalhos.

O terceiro filtro envolveu a leitura completa dos artigos resultantes do segundo filtro, resultando em um total de 155 artigos selecionados, sendo 108 artigos voltados a deficiência visual e 47 relativos a deficiências relacionadas a TAE (que tratam diretamente sobre autismo ou sobre alguma comorbidade relacionada). Importante salientar que não foi encontrado nenhum trabalho que abordasse ambas as deficiências, resultando na classificação dos artigos em dois grupos completamente distintos.

Em se tratando dos trabalhos voltados à deficiência visual, dentre os 108 artigos selecionados, 32 são voltados, especificamente, a usuários cegos, 6 tratam de usuários com baixa visão e 71 artigos tratam de TA para auxiliar tanto usuários cegos como usuários com baixa visão.

Dos artigos recuperados sobre deficiência visual, 63 abordam TA de propósito geral, ou seja, que visam a auxiliar pessoas com deficiência visual na utilização de TICs, mas sem especificar um recurso ou tecnologia. Outros 19 trabalhos são voltados para a área de Educação, especialmente para auxiliar crianças com deficiência visual nos processos de ensino e aprendizagem, bem como promover a acessibilidade de conteúdos matemáticos, o desenvolvimento de raciocínio lógico, pensamento computacional e lógica de programação. Em terceiro lugar, estão os artigos que tratam de Entretenimento (9), e abordam o desenvolvimento e utilização de jogos acessíveis a pessoas com deficiência visual.

Os 17 trabalhos restantes descrevem TA com intuito de auxiliar pessoas com deficiência visual nas seguintes atividades: realização de tarefas de forma independente (5), seja para auxiliar o processo de compras online ou com enfoque em orientação e mobilidade; desenvolvimento de habilidades cognitivas (1); simulação deficiência visual, recriando condições de baixa visão para quem possui visão normal (1); exploração de mapas, sejam eles digitais ou táteis (5); ferramentas para modelagem 3D (2); e recursos voltados para desenvolvedores de sistemas, mais especificamente, acessibilidade de IDEs (3). A Figura 2 apresenta a distribuição dos artigos, de acordo com a área em que foram categorizados.

A leitura dos trabalhos selecionados permitiu verificar que muitos avanços têm sido realizados no desenvolvimento de Tecnologia Assistiva para acesso a TICs por pessoas com deficiência visual. No entanto, algumas limitações relatadas durante a interação do usuário com as TICs podem tornar a experiência ruim e frustrante, das quais pode-se destacar:

- A navegação por meio de leitores de tela é mais limitada do que a navegação visual, e os usuários cegos muitas vezes experimentam uma sobrecarga de informações [Alves et al. 2018], [Jariwala et al. 2020]. Isso ocorre, principalmente, porque os leitores de tela produzem fluxos de texto lineares [Khurana et al. 2018], pois, normalmente, a leitura feita pelos leitores de telas se dá de maneira sequencial, começando pela parte superior à esquerda e seguindo pela direita [Abreu et al. 2019];
- A utilização de leitores de tela pode ser prejudicada se o usuário estiver em um ambiente barulhento ou com privacidade limitada [Khan et al. 2020].
- Usuários de leitores de tela têm à sua disposição uma série de atalhos, que ajudam

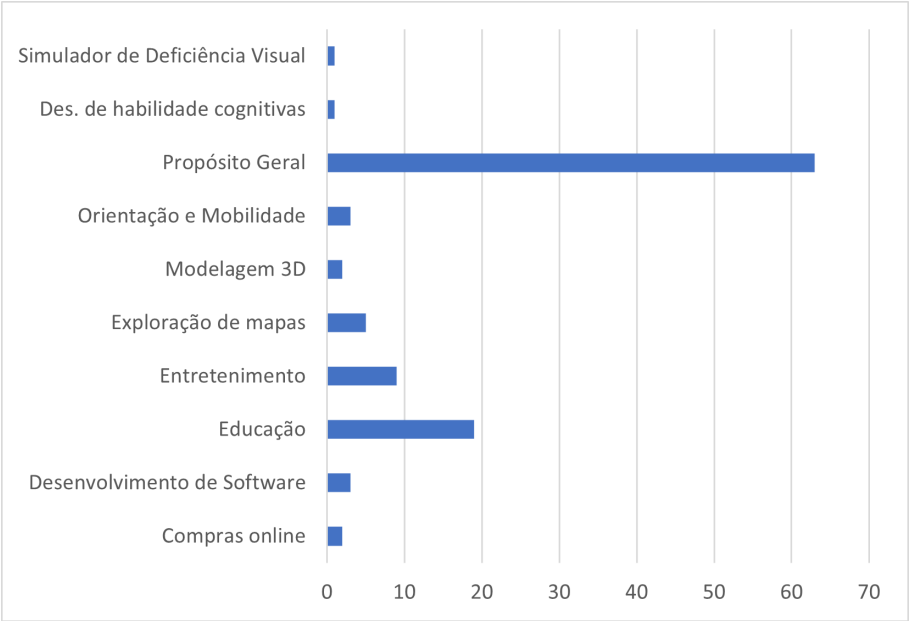

Figura 2. Classificação dos Artigos de acordo com a Área de Aplicação

a navegar no conteúdo de maneira mais rápida. No entanto, pode ser difícil lembrar de todos eles [Argyropoulos et al. 2019] e, muitas vezes, eles se sobrepõem aos atalhos dos aplicativos utilizados;

- Em se tratando de navegação web, mesmo que auxiliado por atalhos de teclado, os usuários de leitores de tela frequentemente precisam pular sequencialmente por uma longa lista de elementos até chegar ao item desejado [Aydin et al. 2020].
- Os leitores de tela não conseguem distinguir o tipo de aplicativo que está sendo utilizado, comunicar o conteúdo de uma determina imagem ou descrever o layout de uma interface [Muniandy and Sulaiman 2017].
- Os elementos de design multimídia não são completamente comunicados ao usuário cego por meio do uso de áudio [Muniandy and Sulaiman 2017], o que torna a tarefa de navegar em uma tela lenta e pesada. Além disso, o conteúdo visual, principalmente na *web*, pode não ter descrições textuais correspondentes, ou ainda, as informações textuais que existem podem ser intercaladas com conteúdo irrelevante [Vanukuru 2020].
- A maioria dos aplicativos apresenta GUIs visualmente densas que são mais adequadas para interação com dispositivo de indicação visual, como mouse ou telas sensíveis ao toque [Jariwala et al. 2020].
- *Displays* Braille não são muito populares para interagir com computadores. Um motivo seria o fato de que o código Braille de 6 pontos suporta apenas 63 símbolos exclusivos, enquanto um teclado possui 104 teclas [Modanwal and Sarawadekar 2017] que, usadas em combinação, podem produzir mais símbolos gráficos. Esses símbolos do teclado não podem ser mapeados para as 63 células exclusivas do alfabeto Braille [Modanwal and Sarawadekar 2016].
- A maioria dos pesquisadores, projetistas e desenvolvedores possuem visão normal e, portanto, geralmente uma compreensão limitada das necessidades das pessoas

com deficiência visual [Mattheiss et al. 2017]. Além disso, as limitações diárias vividas por essa população podem não ser completamente compreendidas por pessoas com visão normal [Velázquez et al. 2016].

- A visão desempenha um papel vital em *smartphones touchscreen* [Sagale et al. 2018], e muitos aplicativos permanecem inacessíveis para pessoas cegas, porque a maioria deles não segue as diretrizes de acessibilidade [Khan and Khusro 2019b].

6. Tecnologia Assistiva e Programação de Computadores

A realização do MSL descrita nas seções anteriores serviu como base para identificar as lacunas relacionadas ao desenvolvimento de TA para auxiliar pessoas com deficiência visual. A análise dos 108 artigos obtidos no terceiro filtro despertou o interesse dos pesquisadores a respeito de artigos que abordassem questões relacionadas à utilização de ferramentas e ambientes de desenvolvimento de software por estudantes e profissionais ligados à programação de computadores. Neste sentido, buscou-se realizar uma análise mais aprofundada nos trabalhos que descreviam TA utilizada para auxiliar no ensino de lógica de programação, desenvolvimento de pensamento computacional e raciocínio lógico, bem como os processos, metodologias e ferramentas utilizadas para desenvolvimento de software por usuários com deficiência visual, especialmente cegos.

A escolha por esta temática é justificada porque, embora uma TA realmente auxilie as pessoas com deficiência visual, aprender conceitos de programação pode ser frustrante, uma vez que são necessários conhecimentos prévios relacionados a algoritmos e organização de software [Utreras and Pontelli 2020]. Além disso, a utilização de leitores de tela se apresenta como principal recurso para auxiliar pessoas com deficiência visual a utilizarem sistemas computacionais. No entanto, isso pode não ser suficiente para haver uma compreensão completa das informações e funcionalidades disponibilizadas, tendo em vista que leitores de tela normalmente fazem uma leitura sequencial (linha por linha) da interface, iniciando no topo da página.

Outro ponto importante é que nas linguagens atuais os comandos são interpretados pelo computador e devem ser escritos corretamente e bem definidos, caso contrário, a máquina não poderá entender as instruções e tarefas específicas não serão resolvidas [Sánchez and Aguayo 2006]. Além disso, a maioria dessas linguagens de programação é fortemente baseada em interfaces visuais.

Neste sentido, duas dificuldades principais que podem ser encontradas quando alunos com deficiência visual usam essas linguagens [Sánchez and Aguayo 2006]: (1) se eles usam uma linguagem pura, eles enfrentam o problema de verificar a consistência do programa e a leitura correta das linhas de comando; e (2) se são fornecidas a eles ferramentas atuais para apoiar a construção de programas, eles lidam com interfaces gráficas de usuário.

Sob este enfoque, a análise dos 108 artigos obtidos na etapa final de filtragem da aplicação do protocolo do MSL descrito no Capítulo 4 permitiu selecionar 12 trabalhos que abordavam essas temáticas, os quais foram classificados conforme a finalidade:

- 5 artigos são voltados à utilização de programação em blocos para desenvolvi-

mento do raciocínio lógico e pensamento computacional em crianças com deficiência visual: [India et al. 2020], [Milne and Ladner 2018], [Rong et al. 2020], [Thieme et al. 2017] e [Utreras and Pontelli 2020];

- 2 artigos tratam de ambientes de programação de robôs por crianças, voltados ao desenvolvimento do raciocínio lógico e pensamento computacional em crianças com deficiência visual: [Oliveira et al. 2020] e [Pires et al. 2020];
- 2 artigos abordam ferramentas e técnicas de modelagem computacional e impressão de formas 3D por pessoas com deficiência visual: [Lieb et al. 2020] e [Siu et al. 2019];
- 1 artigo trata de uma ferramenta para transformação de diagramas UML (*Unified Modeling Language*) para texto: [Loitsch et al. 2018];
- 1 artigo descreve os resultados do processo de levantamento de requisitos e dificuldades encontradas por profissionais desenvolvedores de software com deficiência visual, na utilização de IDEs: [Albusays et al. 2017];
- 1 trabalho descreve o desenvolvimento de um recurso para auxiliar profissionais desenvolvedores de software com deficiência visual a utilizarem a IDE Visual Studio: [Potluri et al. 2018].

A Figura 3 apresenta um gráfico de distribuição dos artigos obtidos e organizados com base nesta classificação.

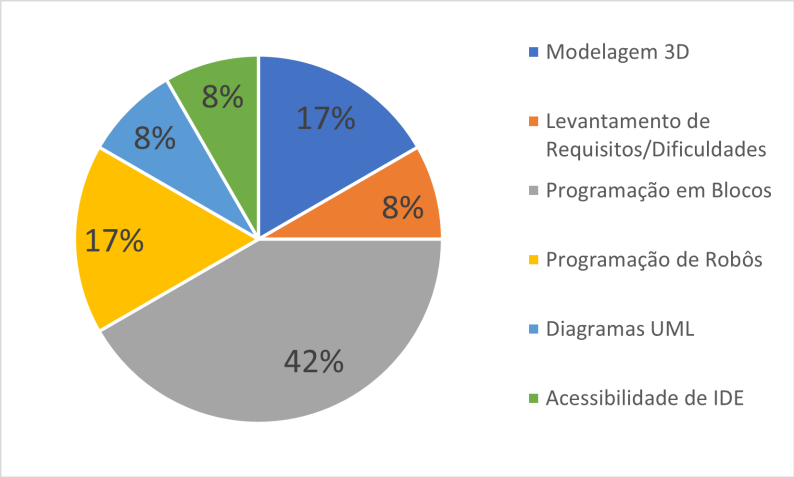

Figura 3. Classificação dos Artigos relacionados à Programação de computadores

O quantitativo de artigos organizados por ano de publicação é apresentado na Figura4. Pode-se observar que 50% dos artigos foi publicado em 2020 e a publicação dos demais artigos está distribuída uniformemente entre os anos de 2017, 2018 e 2019 (2 artigos publicados em cada ano). Nenhum dos artigos selecionados foi publicado no ano de 2016.

Foi constatado interesse na realização de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de raciocínio lógico e pensamento computacional com crianças, totalizando 7 trabalhos recuperados. Os 5 artigos restantes procuram auxiliar profissionais com deficiência visual

nas etapas envolvidas no processo de desenvolvimento de software, estando relacionados ao uso de IDEs, sistemas para modelagem e impressão de formas 3D ou acessibilidade de diagramas UML. Uma descrição mais detalhada dos trabalhos é apresentada nas subseções a seguir.

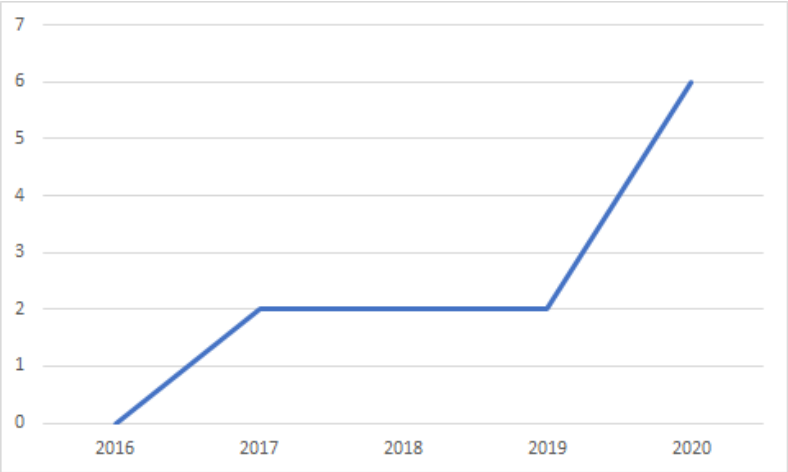

Figura 4. Distribuição dos artigos de acordo com o ano de publicação

6.1. Ferramentas Educacionais

O Torino, [Cambridge 2015], é ambiente de programação desenvolvido pela *Microsoft Research Cambridge* para ensino de pensamento computacional para crianças com deficiência visual. O sucesso do Torino fez com que ele fosse lançado comercialmente, com o nome CodeJumper [CodeJumper 2021]. O Torino foi utilizado para auxiliar a desenvolver pensamento computacional em séries iniciais de escolas para crianças com deficiência visual da Índia, para a exploração criativa de música, sons e narração de histórias [India et al. 2020].

A pesquisa descrita em [Thieme et al. 2017], por sua vez, buscou elucidar questões relacionadas à aprendizagem colaborativa com Torino, na tentativa de responder as seguintes questões: (1) como o design do Torino auxilia ou dificulta a construção de sentido da tecnologia pelas crianças?; (2) como as crianças com habilidades visuais mistas colaboram entre si usando o Torino e como isso se relaciona ao aprendizado de importantes conceitos de computação?; e (3) como os estudantes experimentaram a colaboração na aprendizagem?.

[Milne and Ladner 2018] descrevem o Blocks4All, uma ferramenta digital de programação em blocos que busca meios para superar as barreiras de programação baseada em blocos usando iPad. Os autores buscaram desenvolver um ambiente que pudesse ser utilizado por videntes e pessoas com deficiência visual. São apresentadas as descobertas deste estudo em um design final, e um conjunto de diretrizes de design para projeto de aplicativos similares.

O CodeRhythm é um kit de ferramentas de programação tangível para envolver alunos com deficiência visual na aprendizagem de conceitos fundamentais de

programação criando uma melodia simples [Rong et al. 2020]. O kit de ferramentas contém um conjunto de blocos de sílabas tangíveis, representando as notas musicais, e vários blocos de função distintos, representando alguns conceitos de programação: execução, estruturas de repetição e estruturas condicionais. Os blocos contêm ímãs embutidos, usados para conectá-los. A principal diferença do CodeRhythm em relação aos outros kits de programação musical por blocos (que só podem tocar a melodia após a montagem completa), é que cada bloco de sílaba do CodeRhythm pode fornecer *feedback* de áudio independente, como um complemento aos padrões táteis.

[Utreras and Pontelli 2020] descrevem a implementação de uma interface tangível, que não usa conteúdo gráfico visual como método de entrada ou de saída. O projeto físico do sistema consiste em três principais componentes: (1) blocos de lego modificados e painel de lego; (2) um microcontrolador Arduino Mega; e (3) um computador com alto-falantes. A ideia é que o protótipo que incluísse todos os conceitos básicos de programação utilizados em ferramentas gráficas, proporcionando às crianças com deficiência visual uma experiência divertida em aulas de introdução à programação.

O trabalho de [Pires et al. 2020] discute valores, limitações e oportunidades de vários ambientes de programação para crianças com deficiência visual. Foram analisadas diversas ferramentas de programação tangível para crianças no intuito de verificar características de usabilidade. Os resultados obtidos com testes realizados com docentes de educação especial e instrutores permitiu adaptar um ambiente de desenvolvimento em blocos para incluir mais pistas táteis e auditivas.

O desenvolvimento de uma linguagem de programação, chamada GoDonnie, baseada na linguagem Logo, para pessoas com deficiência visual, é apresentada no trabalho de [Oliveira et al. 2020]. Trata-se de um ambiente de programação de robô no qual mapas cognitivos são construídos conforme o usuário explora cenários familiares e desconhecidos por meio de comandos executados pelo robô.

6.2. Ferramentas Profissionais

[Siu et al. 2019] abordam os desafios de acessibilidade nas áreas de modelagem 3D e impressão 3D para pessoas com deficiência visual. Foi implementado um fluxo de trabalho de modelagem 3D acessível, chamado shapeCAD. Neste sistema, o modelador escreve o código para especificar a geometria 3D que, após compilado, é renderizado em malha de pinos. O usuário pode interagir com a forma renderizada para verificar o design e iterar rapidamente no código antes de imprimir o design em 3D.

[Lieb et al. 2020], por sua vez, descrevem uma solução acessível diretamente aplicável para capacitar usuários cegos ou com graves deficiências visuais a inspecionar modelos 3D virtuais por conta própria. Trata-se de um sistema áudio-háptico barato que permite que modeladores cegos avaliem objetos em uma malha 3D antes de serem impressos. O aplicativo permite que usuários carreguem seu objeto de malha 3D ou insiram a descrição do modelo 3D via linguagem de programação. O modelo 3D pode, então, ser inspecionado haptica, auditiva e visualmente.

O trabalho descrito em [Loitsch et al. 2018] apresenta a sintaxe UML4ALL, projetada para acomodar as necessidades e preferências de pessoas cegas, visando facilitar o

desenvolvimento de software baseado em UML de forma cooperativa e colaborativa entre pessoas com e sem deficiência visual. O sistema gera representações textuais e gráficas de diagramas UML, seguindo uma abordagem baseada em modelo. A sintaxe UML4ALL é usada como um editor textual integrado a IDE Eclipse.

Para investigar como programadores cegos navegam pelo código, [Albusays et al. 2017] realizaram um estudo com 28 programadores cegos, enquanto realizavam atividades comuns de programação. O estudo apontou três descobertas interessantes: (1) ferramentas de programação não atendem às necessidades dos usuários relacionadas à navegação de código; (2) a Tecnologia Assistiva disponível e os recursos específicos de acessibilidade de alguns IDEs não ofereciam suporte adequado para permitir que os usuários naveguem confortavelmente pelo código; e, (3) desenvolvedores de sistemas não compreendem completamente as melhorias de acessibilidade necessárias nos IDEs para atender pessoas com deficiência visual.

Da mesma forma, diante das necessidades enfrentadas por pessoas com deficiência visual para utilizar ferramentas de desenvolvimento de software, [Potluri et al. 2018] apresentam o CodeTalk. Trata-se de um *plugin* para Visual Studio que gera um resumo do código, permitindo obter uma visualização em árvore acessível (contendo os detalhes sobre os *namespaces*, classes e funções no arquivo) e a visualização de uma lista acessível das funções contidas no arquivo de código atual. Além disso, é possível navegar até o componente de código desejado pressionando a tecla Enter.

7. Métodos e Técnicas de Avaliação

A avaliação de IHC é uma atividade fundamental no processo de desenvolvimento de sistemas interativos, pois além de avaliar a qualidade de uso de uma solução, permite identificar problemas de interação que prejudiquem a experiência do usuário durante o uso do sistema [Barbosa and Silva 2010]. Neste sentido, esta seção busca apresentar as metodologias/técnicas de avaliação adotados nos trabalhos obtidos na MSLs.

7.1. Ferramentas Educacionais

[India et al. 2020] utilizaram a metodologia *Ludic Design for Accessibility* (uma abordagem de design que busca manter o jogo e a diversão no centro de qualquer solução [LDA 2022]) visando apresentar o Torino como um brinquedo para exploração criativa de música, sons e contar histórias, e não como um dispositivo para aprendizado computacional. Para realizar a avaliação, foram coletadas informações a respeito da interação das crianças com o sistema. A metodologia *Thinking aloud* foi utilizada para coletar informações. Em cada atividade, solicitava-se que as crianças explicassem o que estavam fazendo e os objetivos que planejavam alcançar.

Para a avaliação do Blocks4All, [Milne and Ladner 2018], foram realizadas quatro sessões (60 a 90 minutos) nas quais crianças programaram um robô *Dash*. Para cada tarefa, as interações das crianças com o robô foram gravadas em vídeo e as interfaces foram avaliadas quanto às questões de usabilidade. Além disso, foram analisados o tempo necessário para completar a tarefa e os sinais de excitação (exclamações, risadas e sorrisos) e cansaço/tédio (bocejos, carrancas) das crianças. Ao final de cada sessão, foram realizadas entrevistas com as crianças para solicitar seu *feedback* sobre as diferentes interfaces.

Na sessão final, as entrevistas continham perguntas relacionadas ao interesse/prazer, competência percebida e esforço/importância identificados pelas crianças, para determinar o quão engajadas e motivadas elas se sentiram durante as atividades de programação.

O CodeRhythm, [Rong et al. 2020], foi demonstrado para uma mulher de 30 anos com deficiência visual que era educadora das Ilhas Virgens Britânicas com especialização na área de música. Primeiramente, os pesquisadores introduziram a ideia e o objetivo do CodeRhythm e explicaram a função de cada bloco. Após a breve introdução, os pesquisadores introduziram os blocos de sílabas e de comandos de programação, criando melodias simples diferentes, que apresentaram à participante como essas funções funcionam no programa. A seguir, usaram combinações de blocos diferentes para demonstrar uma melodia mais diversificada. Após experimentar e interagir com o efeito geral dos blocos, a participante foi incentivada a criar uma melodia personalizada com a montagem de qualquer tipo de bloco. No final, a participante foi entrevistada sobre o desafio de usabilidade, as principais vantagens do kit de ferramentas e potencial melhoria no futuro.

Para avaliar a aprendizagem colaborativa com Torino, [Thieme et al. 2017] realizaram 12 sessões envolvendo duplas de crianças com habilidades visuais mistas para explorar a colaboração usando o Torino. A avaliação envolveu 10 crianças com idades entre 7 e 12 anos, que apresentavam graus variados de capacidade visual (desde cegueira até visão parcial e total). Todas as sessões com as crianças foram gravadas em vídeo. Foi realizada uma Análise Temática que se concentrou no progresso das crianças no aprendizado de programação, seu envolvimento com Torino, instâncias de colaboração e usabilidade geral.

O protótipo descrito em [Utreras and Pontelli 2020] foi avaliado a partir de um estudo preliminar com 9 adultos com deficiência visual com pouca ou nenhuma experiência em ferramentas de programação tangível. O estudo incluía tarefas a serem completadas, uma entrevista e um questionário. Para analisar os resultados, foram gravadas imagens dos movimentos das mãos dos participantes enquanto utilizavam o protótipo e áudio das respostas da entrevista.

No trabalho de [Pires et al. 2020], os autores iniciaram a pesquisa realizando um grupo focal com 6 educadores de Lisboa (Portugal) para discutir valores, limitações e oportunidades dos múltiplos ambientes de programação para crianças com deficiência visual. Com base nessas descobertas, foram identificadas algumas soluções, que foram implementadas e testadas com a participação de crianças com deficiência visual para expandir os possíveis impactos de tal solução em uma sala de aula. Os dados do grupo focal foram analisados e categorizados utilizando diagramas de afinidade. Os resultados obtidos foram implementados e testados em uma oficina de programação com atividades espaciais para crianças com deficiência visual. Por fim, as observações desta atividade foram validadas em um grupo focal de acompanhamento com 8 educadores.

O ambiente de programação Donnie, descrito em [Oliveira et al. 2020], foi avaliado em duas etapas:

1. A primeira etapa contou com a participação de iniciantes e especialistas em programação, pessoas com deficiência visual e professores de programação. Essa etapa incluiu o ensino da linguagem de programação e a realização de atividades

de programação com níveis crescentes de dificuldade. O objetivo principal foi avaliar se a linguagem seria de fácil aprendizado para iniciantes e programadores experientes, bem como se os materiais concretos utilizados para o ensino seriam de fácil compreensão.

2. A segunda etapa buscou verificar o editor de linguagem de programação e o simulador 2D. Participaram desta etapa um estudante cego e um estudante com baixa visão. A avaliação foi realizada por meio de observação de uso (6 atividades de programação e 1 atividade para avaliar o guia GoDonnie) e questionário.

7.2. Ferramentas Profissionais

Para formular diretrizes de design sobre interações com telas táteis que suportam a compreensão e a criação de geometria 3D, [Siu et al. 2019] utilizaram uma abordagem de design participativo com três usuários. Cada sessão normalmente terminava usando técnicas do Mágico de Oz (*Wizard-of-Oz* - WoZ) para prototipação rápida das ideias que surgiram da sessão. Ao final de cada tarefa, foi utilizada a *Single Ease Question* (SEQ), uma escala de classificação do tipo *Likert* para avaliar a percepção dos usuários quanto à dificuldade de realização de uma tarefa. Os participantes também preencheram uma pesquisa relacionada à sua experiência na tarefa, contendo perguntas da escala de usabilidade padrão *System Usability Scale* (SUS), para obter uma pontuação geral de usabilidade, e perguntas sobre facilidade de uso e utilidade de recursos específicos do sistema com base no *Questionnaire for User Interaction Satisfaction* (QUIS), para identificar partes que afetam a usabilidade e questões sobre carga de trabalho. Durante a realização das tarefas do estudo, foi solicitado que os participantes pensassem em voz alta (*Thinking aloud*).

[Albusays et al. 2017] conduziram um estudo baseado em observações e entrevistas semiestruturadas para investigar especificamente como 28 programadores cegos navegam pelo código. Os participantes foram recrutados usando uma lista de discussão privada e postagens de anúncios em grupos privados (Google, LinkedIn e AppleVis) para pessoas cegas. Ao todo, 36 pessoas responderam. Foram realizadas entrevistas de triagem inicial para determinar a elegibilidade dos participantes. Os dados foram gerenciados e anotados usando o software de análise de dados qualitativos NVivo. As questões abertas foram analisadas usando um método de codificação aberta, usando um conjunto de códigos desenvolvidos para representar ideias recorrentes ou problemas levantados pelos participantes.

Para avaliar o sistema áudio-háptico proposto em [Lieb et al. 2020], os autores realizaram um estudo de usuário contendo diferentes subtarefas e medições. Durante a primeira tarefa, os participantes foram solicitados a identificar vários modelos 3D usando o sistema de áudio háptico proposto e tiveram seu desempenho medido. A segunda tarefa consistiu em modelar objetos impressos em 3D o mais próximo possível usando a linguagem de modelagem construtiva OpenJSCAD. Os participantes tiveram então a oportunidade de detectar e corrigir quaisquer erros de modelagem com o sistema. A qualidade de seu modelo foi medida antes e depois da etapa de correção. Após essas tarefas, os participantes responderam a uma breve pesquisa para avaliar suas próprias percepções sobre o sistema. O estudo contou com 19 usuários com idades entre 14 e 46 anos, sendo 11 cegos. O restante dos participantes não tinha visão residual suficiente para acessar qualquer informação da tela durante os experimentos.

A avaliação do [Potluri et al. 2018] contou com uma pesquisa *on-line* com usuários para entender o espectro de questões de acessibilidade que surgem durante todo o ciclo de programação. Após a sua conclusão, os participantes interessados em fornecer mais informações poderiam optar por participar de entrevistas adicionais, transmitindo seu interesse por e-mail. Quatro dos 20 participantes da pesquisa participaram de entrevistas mais detalhadas. Os resultados foram utilizados para a implementação do CodeTalk, que foi avaliado a partir da realização de um estudo exploratório de usuários com 6 desenvolvedores com deficiência visual proficientes em codificação.

A sintaxe UML4ALL foi avaliada por [Loitsch et al. 2018] a partir da disponibilização de um questionário *on-line* baseado no *System Usability Scale* (SUS), contendo: perguntas gerais sobre a capacidade de ver, idade, profissão e experiências com UML em geral e notações textuais UML; perguntas de modelagem UML, abordando conceitos específicos da sintaxe UML4ALL; e, perguntas relacionadas a usabilidade da sintaxe UML4ALL. No total, 14 participantes responderam ao questionário, sendo 7 pessoas sem deficiência visual, seis pessoas cegas e uma pessoa com deficiência visual grave.

8. Discussões

A partir da leitura dos artigos obtidos foi possível constatar a existência de muitos estudos voltados a auxiliar e melhorar a interação de pessoas com deficiência visual em sistemas computacionais. No entanto, ainda há muitas barreiras a serem superadas. Os resultados deixam claro que é necessário desenvolver pesquisas que busquem formas de interação que vão além da extensão da interface visual.

Leitores de tela se apresentam como principal recurso utilizado para acessibilidade em sistemas computacionais por pessoas com deficiência visual. No entanto, no geral, eles fazem uma leitura linear do conteúdo disponibilizado, o que pode demandar muito tempo e esforço dos usuários, além de limitar o acesso a algumas informações, caso os critérios de acessibilidade não estejam correta e completamente implementados.

A aprendizagem de conteúdos relacionados à programação de computadores pode ser transformadora, pois desenvolve habilidades que podem ser utilizadas nas mais diversas áreas. Para ensinar crianças a programar, por exemplo, os trabalhos recuperados utilizam ambientes de programação baseados em blocos (contendo peças tangíveis que podem ser conectadas pelos estudantes e fornecem uma saída sonora) ou robôs. A utilização de blocos tangíveis permite que estes estudantes compreendam as principais estruturas fornecidas pelas linguagens de programação, suas aplicabilidades, bem como permite que analisem os resultados obtidos através das diferentes combinações de blocos.

As ferramentas disponíveis para auxiliar nos processos de desenvolvimento de software ainda são prioritariamente visuais. A leitura destas interfaces, quando feita linha por linha, torna o processo de reconhecimento e identificação dos elementos disponíveis lento e, por vezes, cansativo e entediante. Além disso, segundo [Albusays et al. 2017], as ferramentas de edição de código (por exemplo, IDEs), geralmente possuem editores de texto que incluem recursos visuais que usam identação para indicar o nível de escopo, cores diferentes para realce de sintaxe e vários outros recursos para ajudar os programadores a compreender sua estrutura de código e navegar por ela com mais facilidade. Além

disso, muitas informações transmitidas por meio de metáforas visuais em IDEs podem não ser acessíveis aos leitores de tela.

A modelagem e impressão de formas 3D também pode ser um desafio para programadores com deficiência visual, pois, conforme [Siu et al. 2019], a maioria das ferramentas comerciais que suportam visualização, autoria e edição de modelos 3D são principalmente visuais. Adicionalmente, a especificação dos requisitos de um sistema computacional normalmente é feita através da utilização de diagramas UML, os quais são complexos e, por vezes, inacessíveis a pessoas com deficiência visual.

Com relação às metodologias e técnicas de avaliação utilizados nos trabalhos obtidos na MSL, observou-se que apenas um dos trabalhos não relata a realização de estudos exploratórios, envolvendo a execução de tarefas por um grupo de usuários. Questionários e entrevistas são bastante utilizados para coletar requisitos e informações a respeito da percepção dos usuários com relação à interação com os sistemas. No total, 6 trabalhos relatam a utilização de questionários e outros 5 artigos descrevem a utilização de entrevistas.

Workshops e/ou oficinas foram utilizadas em três dos artigos obtidos, no intuito de apresentar as funcionalidades do sistema proposto a seus usuários e identificar possíveis melhorias necessárias.

As metodologias *Thinking aloud*, onde se pede que o participante relate em voz alta o que está pensando e fazendo durante a interação[Barbosa and Silva 2010], e Mágico de Oz (*Wizard-of-Oz* - WoZ), uma forma de testar um protótipo conversacional sem a necessidade de desenvolver um projeto conversacional [Barbosa and Silva 2010], foram citadas, cada uma, uma vez. Por fim, um trabalho realizou um Grupo focal e outro trabalho optou por utilizar a metodologia do Design participativo (onde os participantes atuaram como co-designers do sistema para coletar necessidades e desejos dos usuários. A Figura 5 apresenta as metodologias/técnicas de avaliação utilizados nos trabalhos obtidos na MSL, bem como o quantitativo de artigos que utilizou cada uma delas.

Com relação aos questionários utilizados, foram citados: *Single Ease Question* (SEQ); *System Usability Scale* (SUS); e, *Questionnaire for User Interaction Satisfaction* (QUIS). Vale destacar que esses três questionários foram utilizados em um mesmo trabalho, [Siu et al. 2019], onde: o SUS foi utilizado para obter uma pontuação geral de usabilidade, contendo perguntas sobre facilidade de uso; o QUIS foi utilizado para analisar a utilidade de recursos específicos do sistema, ou seja, para identificar partes que afetam a usabilidade e questões sobre carga de trabalho dos usuários; e, O SEQ foi usado para avaliar o quão difícil os usuários percebem uma tarefa de usabilidade.

Um questionário SUS também foi utilizado no trabalho de [Loitsch et al. 2018], visando realizar uma avaliação subjetiva de usabilidade. No entanto, segundo o autor, o questionário SUS permite apenas indicar uma tendência de usabilidade.

Ao analisar a quantidade de participantes em cada um dos estudos obtidos na MSL pode-se perceber e o tamanho da amostra utilizada varia de um estudo para o outro, desde a participação de 1 único usuário até outro estudo que contou com 28 usuários. Segundo [Milne and Ladner 2018, Mattheiss et al. 2017], o tamanho pequeno da amostra

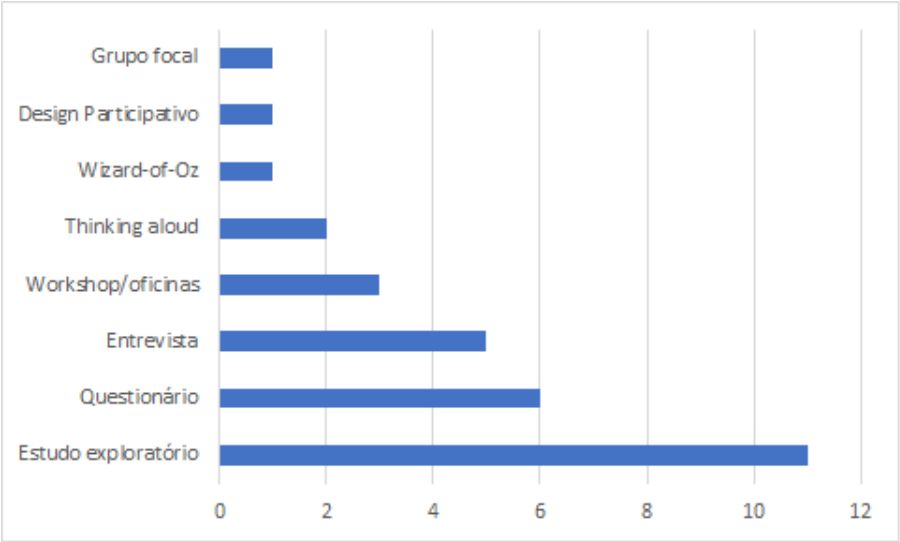

Figura 5. Métodos e Técnicas de Avaliação utilizados nos trabalhos

está relacionado à dificuldade de recrutamento de usuários representativos do público-alvo desses sistemas (pessoas com deficiência visual). Ou seja, por se tratar de um público-alvo muito específico, por vezes é difícil recrutar um número grande de participantes.

No entanto, conforme [Nielsen 1994], cinco usuários são suficientes para encontrar 85% dos problemas de uma interface. Deve-se, ainda, estudar a metodologia de análise de dados que se pretende utilizar. Enquanto uma abordagem quantitativa fundamenta-se na ”frequência”de aparição de determinados elementos da mensagem, uma abordagem qualitativa recorre a indicadores não frequenciais suscetíveis de permitir inferências[Bardin 2015].

9. Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma Revisão Sistemática da Literatura acerca de Tecnologia Assistiva para auxiliar usuários com deficiência visual no acesso a TICs. Esta MSL é parte de um Mapeamento Sistemático da Literatura que envolveu o uso de TA por pessoas com deficiência visual ou com Transtorno do Espectro Autista no uso de TICs.

Os resultados obtidos apresentam recursos para auxiliar pessoas com deficiência visual na realização de várias tarefas importantes na sua rotina diária. No entanto, pessoas com deficiência visual ainda enfrentam inúmeras dificuldades para ter acesso aos recursos disponíveis em sistemas interativos, visto que a maioria das interfaces desenvolvidas são prioritariamente visuais.

A análise permitiu identificar 12 trabalhos relacionados a atividades que envolvem programação de computadores. Desses, 7 voltados ao ensino de lógica de programação e desenvolvimento de raciocínio lógico e pensamento computacional para crianças. Os outros 5 trabalhos enfocam nos processos que envolvem programação por profissionais. É importante destacar que não foram obtidos resultados que envolvessem pesquisas acerca da utilização de ferramentas e metodologias de desenvolvimento de software nas discipli-

nas relacionadas à programação de computadores em cursos técnicos e superiores.

Este estudo permitiu identificar as principais metodologias e técnicas de avaliação utilizadas para avaliar a qualidade de uso e satisfação dos usuários ao interagir com os recursos desenvolvidos. Além disso, ficou clara a dificuldade de recrutar participantes com perfil representativo do público-alvo dos sistemas avaliados (pessoas com deficiência visual).

Para que se possa oferecer ferramentas de desenvolvimento de software que permitam que pessoas com deficiência visual possam utilizar todos os recursos disponibilizados, é necessário compreender as principais limitações e/ou barreiras encontradas por esses estudantes nessas disciplinas.

10. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

AAO.org (2022). American academy of ophthalmology. `https://www.aao.org/`. (Accessed on 06/19/2022).

Abreu, S., Silva, J. S. R., Anjos, G. P. d., Guedes, H. M. C., Prietch, S. S., Cardoso, P. C. F., and Freire, A. P. (2019). Usability evaluation of a resource to read mathematical formulae in a screen reader for people with visual disabilities. In *Proceedings of the 18th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–11.

Albusays, K., Ludi, S., and Huenerfauth, M. (2017). Interviews and observation of blind software developers at work to understand code navigation challenges. In *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pages 91–100.

Alves, E. A., Cardoso, P. C. F., and Freire, A. P. (2018). Automatically generated summaries as in-page web navigation accelerators for blind users. In *Proceedings of the 17th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–8.

Argyropoulos, V., Paveli, A., and Nikolaraizi, M. (2019). The role of daisy digital talking books in the education of individuals with blindness: A pilot study. *Education and Information Technologies*, 24(1):693–709.

Ashraf, M. M., Hasan, N., Lewis, L., Hasan, M. R., and Ray, P. (2016). A systematic literature review of the application of information communication technology for visually impaired people. *International Journal of Disability Management*, 11.

Aydin, A. S., Feiz, S., Ashok, V., and Ramakrishnan, I. (2020). Sail: Saliency-driven injection of aria landmarks. In *Proceedings of the 25th International Conference on Intelligent User Interfaces*, pages 111–115.

Barbosa, S. and Silva, B. (2010). *Interação humano-computador*. Elsevier Brasil.

Bardin, L. (2015). *Análise de Conteúdo*. Edições 70.

Bersch, R. (2008). Introdução à tecnologia assistiva. *Porto Alegre: CEDI*, 21.

Bhowmick, A. and Hazarika, S. M. (2017). An insight into assistive technology for the visually impaired and blind people: state-of-the-art and future trends. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 11(2):149–172.

Brasil (2004). Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004. *Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional Técnica de Nível Médio. Ministério da Educação, Brasília, DF*.

Brasil (2006). Saberes e práticas da inclusão: desenvolvendo competências para o atendimento às necessidades educacionais especiais de alunos cegos e de alunos com baixa visão.

Cambridge, M. R. (2015). Project torino - microsoft research. `https://www.microsoft.com/en-us/research/project/project-torino/`.

CAT (2009). Tecnologia assistiva. *Brasília: Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República, Comitê de Ajudas Técnicas*.

Civil, C. (2015). Lei nº 13.146, de 6 de julho 2015. *Institui a lei brasileira de inclusão da pessoa com deficiência (estatuto da pessoa com deficiência). Brasília*.

CodeJumper (2021). American printing house. `https://codejumper.com/`.

da Silva, C. F., Ferreira, S. B. L., and Ramos, J. F. M. (2016). Whatsapp accessibility from the perspective of visually impaired people. In *Proceedings of the 15th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–10.

Dias, J. d. L. and Dias, M. d. L. O. (2019). Os leitores de tela como ferramenta de acessibilidade e inclusão da pessoa com deficiência visual. *Brazilian Journal of Development*, 5(12):28869–28878.

Fabbri, S., Silva, C., Hernandes, E., Octaviano, F., Di Thommazo, A., and Belgamo, A. (2016). Improvements in the start tool to better support the systematic review process. In *Proceedings of the 20th international conference on evaluation and assessment in software engineering*, pages 1–5.

Geraldo, R. J. (2016). *Um auxílio à navegação acessível na web para usuários cegos*. PhD thesis, São Carlos (SP): Teses de Doutorado em Ciências da Computação e Matemática Computacional da Universidade de São Paulo.

Guimarães, Í. J. B. et al. (2016). Acessibilidade em websites de comércio eletrônico: avaliação através da interação com usuários cegos.

Hadwen-Bennett, A., Sentance, S., and Morrison, C. (2018). Making programming accessible to learners with visual impairments: A literature review. *International Journal of Computer Science Education in Schools*, 2(2):3–13.

Hakobyan, L., Lumsden, J., O'Sullivan, D., and Bartlett, H. (2013). Mobile assistive technologies for the visually impaired. *Survey of ophthalmology*, 58(6):513–528.

IBGE (2010). Sinopse do censo demográfico. *Rio de Janeiro*.

India, G., Ramakrishna, G., Pal, J., and Swaminathan, M. (2020). Conceptual learning through accessible play: Project torino and computational thinking for blind children in india. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Information and Communication Technologies and Development*, pages 1–11.

Ismaili, J. et al. (2017). Mobile learning as alternative to assistive technology devices for special needs students. *Education and Information Technologies*, 22(3):883–899.

ISO/IEC (2018). *ISO/IEC 9241. Ergonomia da interação humano-sistema. PArte 171: Orientações sobre acessibilidade de software*. ISO/IEC.

Jariwala, A., Marghitu, D., and Chapman, R. (2020). Mya+ math: Teaching math to students with vision impairment. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, pages 200–211. Springer.

Khan, A. and Khusro, S. (2019a). Blind-friendly user interfaces–a pilot study on improving the accessibility of touchscreen interfaces. *Multimedia Tools and Applications*, 78(13):17495–17519.

Khan, A. and Khusro, S. (2019b). Blind-friendly user interfaces–a pilot study on improving the accessibility of touchscreen interfaces. *Multimedia Tools and Applications*, 78(13):17495–17519.

Khan, A., Khusro, S., Niazi, B., Ahmad, J., Alam, I., and Khan, I. (2020). Tetramail: a usable email client for blind people. *Universal Access in the Information Society*, 19(1):113–132.

Khan, M. N. H., Arovi, M. A. H., Mahmud, H., Hasan, M. K., and Rubaiyeat, H. A. (2015). Speech based text correction tool for the visually impaired. In *2015 18th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)*, pages 150–155.

Khurana, R., McIsaac, D., Lockerman, E., and Mankoff, J. (2018). Nonvisual interaction techniques at the keyboard surface. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–12.

LDA (2022). All for play, play for all — ludic design for accessibility. `https://www.ludicdesign.org/`. (Accessed on 09/09/2022).

Leporini, B. and Paternò, F. (2004). Increasing usability when interacting through screen readers. *Universal access in the information society*, 3(1):57–70.

Leporini, B. and Paternò, F. (2008). Applying web usability criteria for vision-impaired users: does it really improve task performance? *Intl. Journal of Human–Computer Interaction*, 24(1):17–47.

Lieb, S., Rosenmeier, B., Thormählen, T., and Buettner, K. (2020). Haptic and auditive mesh inspection for blind 3d modelers. In *The 22nd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pages 1–10.

Loitsch, C., Müller, K., Seifermann, S., Henß, J., Krach, S., Jaworek, G., and Stiefelhagen, R. (2018). Uml4all syntax–a textual notation for uml diagrams. In *International*

Conference on Computers Helping People with Special Needs, pages 598–605. Springer.

Mattheiss, E., Regal, G., Sellitsch, D., and Tscheligi, M. (2017). User-centred design with visually impaired pupils: A case study of a game editor for orientation and mobility training. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 11:12–18.

Mendonça, A., Miguel, C., Neves, G., Micaelo, M., and Reino, V. (2008). *Alunos cegos e com baixa visão. Orientações curriculares*. DGIDC/DSEEASE.

Milne, L. R. and Ladner, R. E. (2018). Blocks4all: overcoming accessibility barriers to blocks programming for children with visual impairments. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–10.

Modanwal, G. and Sarawadekar, K. (2016). Development of a new dactylology and writing support system especially for blinds. In *2016 13th Conference on Computer and Robot Vision (CRV)*, pages 362–369. IEEE.

Modanwal, G. and Sarawadekar, K. (2017). A new dactylology and interactive system development for blind–computer interaction. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 48(2):207–212.

Moher, D., Stewart, L., and Shekelle, P. (2015). All in the family: systematic reviews, rapid reviews, scoping reviews, realist reviews, and more. *Systematic reviews*, 4(1):1–2.

Muniandy, M. and Sulaiman, S. (2017). Touch sensation as part of multimedia design elements to improve computer accessibility for the blind users. In *2017 International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS)*, pages 1–6. IEEE.

Nakagawa, E. Y., Scannavino, K. R. F., Fabbri, S. C. P. F., and Ferrari, F. C. (2017). Revisão sistemática da literatura em engenharia de software: teoria e prática.

Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.

Oliveira, J. D., de Borba Campos, M., and Paixão-Cortes, V. S. M. (2020). Usable and accessible robot programming system for people who are visually impaired. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, pages 445–464. Springer.

Paciello, M. (2000). *Web accessibility for people with disabilities*. Crc Press.

Pascolini, D. and Mariotti, S. P. (2012). Global estimates of visual impairment: 2010. *British Journal of Ophthalmology*, 96(5):614–618.

Pires, A. C., Rocha, F., de Barros Neto, A. J., Simão, H., Nicolau, H., and Guerreiro, T. (2020). Exploring accessible programming with educators and visually impaired children. In *Proceedings of the Interaction Design and Children Conference*, pages 148–160.

Potluri, V., Vaithilingam, P., Iyengar, S., Vidya, Y., Swaminathan, M., and Srinivasa, G. (2018). Codetalk: Improving programming environment accessibility for visually impaired developers. In *Proceedings of the 2018 chi conference on human factors in computing systems*, pages 1–11.

Rong, Z., Chan, N. F., Chen, T., and Zhu, K. (2020). Coderhythm: A tangible programming toolkit for visually impaired students. In *The eighth International Workshop of Chinese CHI*, pages 57–60.

Sagale, U., Bhutkar, G., Karad, M., and Jathar, N. (2018). An eye-free android application for visually impaired users. In *Ergonomics in Caring for People*, pages 291–297. Springer.

Sánchez, J. and Aguayo, F. (2006). Apl: Audio programming language for blind learners. In *International Conference on Computers for Handicapped Persons*, pages 1334–1341. Springer.

Siedler, M., Zen, E., Cardoso, R., and Tavares, T. (2022). Assistive technology as an aid to individuals with autism spectrum disorder: A systematic literature mapping. In *Proceedings of the Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 244–252.

Siu, A. F., Kim, S., Miele, J. A., and Follmer, S. (2019). shapecad: An accessible 3d modelling workflow for the blind and visually-impaired via 2.5 d shape displays. In *The 21st International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pages 342–354.

TheorizeIt.org (2022). Is theory. `https://is.theorizeit.org/wiki/Main_Page`. (Accessed on 02/27/2023).

Thieme, A., Morrison, C., Villar, N., Grayson, M., and Lindley, S. (2017). Enabling collaboration in learning computer programing inclusive of children with vision impairments. In *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems*, pages 739–752.

Torres, J. P., COSTA, C. S. L. d., and LOURENÇO, G. F. (2016). Substituição sensorial visuo-tatil e visuo-auditiva em pessoas com deficiência visual: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Educação Especial*, 22:605–618.

Utreras, E. and Pontelli, E. (2020). Design of a tangible programming tool for students with visual impairments and low vision. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, pages 304–314. Springer.

Vanukuru, R. (2020). Accessible spatial audio interfaces: A pilot study into screen readers with concurrent speech. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–6.

Velázquez, R., Sánchez, C. N., and Pissaloux, E. E. (2016). Visual impairment simulator based on the hadamard product. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 329:169–179.

W3C (1998). Web accessibility initiative (wai). `https://www.w3.org/WAI/`. (Accessed on 05/30/2022).

WAI/W3C (2009). Accessible rich internet applications (wai-aria). `https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/aria/`. (Accessed on 05/26/2022).

WAI/W3C (2018). Diretrizes de acessibilidade para conteúdo web (wcag) 2.1 - português. https://www.w3c.br/traducoes/wcag/wcag21-pt-BR/. (Accessed on 05/26/2022).

Zen, E., Siedler, M. d. S., da Costa, V. K., and Tavares, T. A. (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.

Zubrow, D. (2004). Software quality requirements and evaluation, the iso 25000 series. *Software Engineering Institute, Carnegie Mellon*.