

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

**FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E
DESENVOLVIMENTO NA REGIÃO CENTRO-OESTE**

LUIZ FERNANDO DELBONI LOMBA

**DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA INTELIGENTE,
UTILIZANDO TRAJETÓRIAS SEMÂNTICAS, PARA AUXILIAR
PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL NOS AMBIENTES DA
UNIVERSIDADE**

CAMPO GRANDE - MS

2024

LUIZ FERNANDO DELBONI LOMBA

**DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA INTELIGENTE,
UTILIZANDO TRAJETÓRIAS SEMÂNTICAS, PARA AUXILIAR
PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL NOS AMBIENTES DA
UNIVERSIDADE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, da Faculdade de Medicina, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste. Linha de Pesquisa: Tecnologia e Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Valter Aragão do Nascimento

Coorientador: Prof. Dr. Josivaldo Godoy da Silva

CAMPO GRANDE - MS

2024

LUIZ FERNANDO DELBONI LOMBA

**DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA INTELIGENTE,
UTILIZANDO TRAJETÓRIAS SEMÂNTICAS, PARA AUXILIAR
PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL NOS AMBIENTES DA
UNIVERSIDADE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, da Faculdade de Medicina, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste. Linha de Pesquisa: Tecnologia e Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Valter Aragão do Nascimento

Coorientador: Prof. Dr. Josivaldo Godoy da Silva

Banca examinadora:	Nota/conceito
Valter Aragão do Nascimento - PPGSD/UFMS	<u>Aprovado</u>
Albert Schiaveto de Souza - PPGSD/UFMS	<u>Aprovado</u>
Marcelo Augusto Assunção Sanches - UNESP	<u>Aprovado</u>
Aparecido Augusto de Carvalho - UNESP	<u>Aprovado</u>
José Aparecido da Costa - CAP/DV (SED/MS)	<u>Aprovado</u>

AVALIAÇÃO FINAL: (x) Aprovado () Reprovado

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Luiz e Marlene, que são a base do que me tornei e que, desde sempre, me incentivaram no caminho dos estudos e o apontaram como a oportunidade de construir uma vida e um mundo diferentes. Foi ali que as primeiras sementes de professor e pesquisador foram plantadas.

Em 1991, comecei oficialmente minha trajetória acadêmica na "Escolinha do Pom-bal" e encerro mais uma etapa deste ciclo na UFMS. Sou oriundo da escola pública, e ela fez toda a diferença na minha vida! Estendo meus agradecimentos aos professores que fizeram parte desta jornada, em especial ao Prof. Josivaldo Godoy da Silva, que me acolheu no PPGSD/UFMS, e ao Prof. Valter Aragão do Nascimento, pelo suporte e orientações durante este período.

Ao longo deste caminho, conheci minha esposa, Fernanda Moretti Lomba, que passou a percorrê-lo comigo, transformando "meus sonhos" em "nossos sonhos" e "nossas dificuldades". Muito obrigado por tudo!

No início da jornada no PPGSD/UFMS, quando tudo parecia seguir por linhas retas e seguras, a Covid-19 mudou os planos e trouxe medos e inseguranças. Para acalmar meu coração, em um sinal de esperança em meio a tanta dor e incerteza, veio meu guri, Luiz Henrique. A partir de então, tive ainda mais certeza da necessidade e do compromisso de construir um mundo melhor para ele e prepará-lo para fazer do mundo um lugar melhor.

Aproveito para agradecer ao meu amigo Paulo Braga, que me apresentou à ADVIMS e ao ISMAC, os quais acolheram meu projeto e me mostraram o mundo por diferentes perspectivas, das quais tive o prazer de vivenciar com cada um dos voluntários que contribuíram com a pesquisa. Obrigado à ADVIMS e ao ISMAC, e a todos os voluntários da pesquisa. Eles não contribuíram apenas com a pesquisa, mas também com minha formação como pesquisador e como pai do Luiz Henrique, na busca por ser uma pessoa melhor. Não há um mundo melhor sem pessoas melhores!

Ao Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, agradeço pelo afastamento concedido por meio do Edital nº 061/2020, que possibilitou minha dedicação exclusiva ao doutorado no período entre 2021 e 2024.

RESUMO

As pessoas com deficiência visual (PcDV) enfrentam desafios cotidianos que podem ser minimizados com o uso de tecnologia assistiva (TA). Um desafio significativo para elas é a mobilidade segura em ambientes desconhecidos, situação que pode ser mitigada por meio do uso de uma tecnologia assistiva inteligente (TAI). O objetivo da pesquisa foi desenvolver uma TAI, na forma de um aplicativo, com o propósito de auxiliar as PcDV na locomoção em ambientes desconhecidos. A pesquisa é de natureza quali-quantitativa, descritiva e avaliativa, realizado por meio de um estudo de caso conduzido na cidade universitária da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS-CG) e que contou com a participação de PcDV. A pesquisa foi dividida em quatro etapas: preparação e planejamento, coleta de requisitos, desenvolvimento e avaliação da TAI. O desenvolvimento incluiu a criação de um aplicativo, abrangendo as tarefas de modelagem, implementação e testes do *software*. Na etapa de avaliação, os voluntários visitaram a UFMS-CG e utilizaram a TAI para auxiliá-los a chegar a destinos específicos. Os requisitos identificados foram divididos em quatro categorias: barreiras e itens de promoção da acessibilidade, informações essenciais para a execução de uma rota, elementos de referência para a localização e preferências em aplicativos de navegação assistida. Elementos multissensoriais foram destacados como fundamentais, com sua relevância variando de acordo com a acuidade visual e experiência em orientação e mobilidade da pessoa. Os requisitos serviram como base para o desenvolvimento da TAI, que fornece a rota com melhor acessibilidade para a pessoa acessar o destino desejado. Durante a execução da rota o usuário recebe orientações sobre as direções a seguir e informações sobre os itens de acessibilidade encontrados ao longo do caminho. Na etapa de avaliação o aplicativo demonstrou ser capaz de fornecer as orientações para que a PcDV busque seu destino com autonomia. No entanto, a avaliação se restringiu a uma área específica da UFMS-CG, e sua aplicabilidade em outros ambientes deverá ser previamente avaliada. Adicionalmente, as rotas geradas utilizavam a pista de rolamento como referência, negligenciando elementos importantes para os pedestres, tais como corredores internos e faixas de pedestre. Apesar das limitações o aplicativo atende às premissas de uma TAI, adaptando-se dinamicamente às necessidades das pessoas e às condições dos ambientes. Ele tem o potencial de contribuir para promover a autonomia das PcDV, fornecendo orientações para que elas cheguem a um destino e notificando sobre os itens de acessibilidade identificados, proporcionando-lhes independência, segurança e inclusão. A pesquisa enfatiza a importância da colaboração multidisciplinar para a criação de TAI.

Descritores: pessoas com deficiência visual; tecnologia assistiva; tecnologia assistiva inteligente; orientação e mobilidade; aplicativo de navegação assistida.

ABSTRACT

Visually impaired persons (VIP) face daily challenges that can be minimized through the use of assistive technology (AT). A significant challenge for them is safe mobility in unfamiliar environments, a situation that can be mitigated through the use of smart assistive technology (SAT). The research aimed to develop an SAT, in the form of an application, with the purpose of assisting VIP in navigating unfamiliar environments. The research is of a qualitative-quantitative, descriptive, and evaluative nature, conducted through a case study carried out at the university campus of the Federal University of Mato Grosso do Sul (UFMS-CG) and involved the participation of VIP. The research was divided into four stages: preparation and planning, requirements gathering, development, and evaluation of the SAT. The development included the creation of an application, covering tasks such as modeling, implementation, and software testing. In the evaluation stage, volunteers visited UFMS-CG and used the SAT to assist them in reaching specific destinations. The identified requirements were divided into four categories: the barriers and items promoting accessibility, essential information for executing a route, reference elements for location, and preferences in assisted navigation applications. Multisensory elements were highlighted as essential, their relevance varying according to the individual's visual acuity and experience in orientation and mobility. These requirements served as a basis for the development of the SAT, which provides the most accessible route for the individual to reach their desired destination. During the route execution, the user receives guidance on the directions to follow and information about encountering accessibility items along the way. In the evaluation stage, the application demonstrated its ability to provide guidance for VIP to seek their destination independently. However, the evaluation was limited to a specific area of UFMS-CG, and its applicability in other environments should be evaluated beforehand. Additionally, the generated routes used roadway lanes as a reference, overlooking important pedestrian elements such as indoor corridors and crosswalks. Despite the limitations, the application meets the criteria of an SAT, dynamically adapting to individuals' needs and environmental conditions. It has the potential to contribute to promoting the autonomy of VIP, providing guidance to reach a destination and notifying about identified accessibility items, offering them independence, safety, and inclusion. The research emphasizes the importance of multidisciplinary collaboration in creating AT.

Descriptors: visually impaired persons; self-help devices; smart assistive technology; orientation and mobility; assisted navigation application.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma com as etapas da execução da pesquisa	66
Figura 2 – Fluxograma do processo de coleta e tratamento dos dados	68
Figura 3 – Mapa de uma das localidades utilizadas na avaliação do algoritmo	71
Figura 4 – Mapa com as rotas traçadas em uma das localidades utilizadas na avaliação do algoritmo	71
Figura 5 – Mapa com os itens de acessibilidade inseridos em uma das localidades utilizadas na avaliação do algoritmo	72
Figura 6 – Mapa com a rota traçada entre os ambientes avaliados na UFMS-CG	73
Figura 7 – Cenário de teste para avaliar a diferença entre a distância notificada e a distância real para os itens de acessibilidade	74
Figura 8 – Fluxograma do processo de coleta e tratamento dos dados na etapa de avaliação do aplicativo	79
Figura 9 – Comparação do piso tátil de alerta e o piso tátil direcional.	88
Figura 10 – Mapa da área avaliada na UFMS-CG com a marcação dos itens de acessibilidade	95
Figura 11 – Piso tátil instalado no acesso ao prédio da Biblioteca Central.	96
Figura 12 – Calçamento no entorno do prédio da Biblioteca Central.	97
Figura 13 – Piso tátil na região de acesso a uma faixa de pedestre.	98
Figura 14 – Totens verticais utilizados para a identificação de ambientes na UFMS-CG.	99
Figura 15 – Registro de uma mesma localização, com e sem barreira temporária.	100
Figura 16 – Diagrama geral do aplicativo	101
Figura 17 – Diagrama com a estrutura do aplicativo e os recursos utilizados	102
Figura 18 – Diagrama de casos de uso do aplicativo	104
Figura 19 – Tela principal, de configuração e de seleção do destino.	106
Figura 20 – Telas com informações sobre as rotas traçadas.	108
Figura 21 – Gráfico de colunas que exhibe o número de itens de acessibilidade nas rotas otimizadas e nas rotas não otimizadas	110
Figura 22 – Gráfico de dispersão apresentando a regressão linear entre o número de itens de acessibilidade das rotas e o número de rotas otimizadas	110
Figura 23 – Gráfico de colunas que representa a taxa de otimização do custo das rotas de acordo com as localidades avaliadas	111
Figura 24 – Gráfico de dispersão apresentando a regressão linear entre o número de itens de acessibilidade das rotas e a taxa de redução do custo das mesmas	112
Figura 25 – Trecho de uma rota inconsistente, que ignora uma faixa de pedestre	114
Figura 26 – Trecho de uma rota inconsistente, passando por uma rotatória	115

Figura 27 – Trecho de uma rota inconsistente, com desvio insignificante	116
Figura 28 – Intervalo entre as coordenadas que compõem uma rota	117
Figura 29 – Rota com coordenadas adicionadas em intervalo	117
Figura 30 – Tela com as orientações da rota e informações do item de acessibilidade	118
Figura 31 – Gráfico de colunas apresentando o erro médio para identificação dos itens de acessibilidade em relação aos locais avaliados	120
Figura 32 – Gráfico de colunas apresentando o erro médio para identificação dos itens de acessibilidade em relação aos smartphones utilizados	121
Figura 33 – Barreiras temporárias identificadas durante a visita à UFMS-CG. . . .	126
Figura 34 – Calçada com mudança de direção sem a sinalização de alerta no piso tátil	127
Figura 35 – Calçada sem infraestrutura acessível	128
Figura 36 – Calçada na frente da reitoria da UFMS com interrupção no piso tátil .	129
Figura 37 – Faixa elevada para travessia de pedestres sem a presença do piso tátil .	130
Figura 38 – Distância entre o ponto marcado pelo Google Maps e a calçada	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de deficiência visual	26
Tabela 2 – Características das pesquisas identificadas.	62
Tabela 3 – Descrição dos smartphones utilizados nas atividades da pesquisa.	69
Tabela 4 – Relação das rotas avaliadas na UFMS-CG.	73
Tabela 5 – Características específicas dos participantes na atividade de campo: particularidades, recursos utilizados, itens de referência utilizados e barreiras enfrentadas.	84
Tabela 6 – Requisitos e funcionalidades da categoria itens de acessibilidade.	90
Tabela 7 – Requisitos e funcionalidades da categoria informações da rota.	91
Tabela 8 – Requisitos e funcionalidades da categoria localização da pessoa ao longo da rota.	92
Tabela 9 – Requisitos e funcionalidades da categoria preferências para os aplicati- vos de navegação assistiva.	93
Tabela 10 – Itens de acessibilidade identificados nas rotas executadas na UFMS- CG, com descrição do tipo e quantidade (junho/2023).	94
Tabela 11 – Resultados da avaliação da associação entre o número de rotas otimi- zadas e as localidades.	109
Tabela 12 – Avaliação das rotas geradas na UFMS-CG utilizando o algoritmo.	113
Tabela 13 – Diferença entre as distâncias informadas pelo aplicativo e as distâncias reais.	119
Tabela 14 – Resultados da avaliação da associação entre as ocorrências na execução das rotas e os smartphones utilizados.	121
Tabela 15 – Comparação das principais características observadas nas atividades de campo nas etapas 2 e 4.	143

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADVIMS Associação dos Deficientes Visuais de Mato Grosso do Sul

API Application Programming Interface

CID Classificação Internacional de Doenças

CIF Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde

EOA Electronic Orientation Aid

ETA Electronic Travel Aid

GATE Global Cooperation on Assistive Technology

GNSS Global Navigation Satellite System

GPS Global Positioning System

HAAT Human Activity Assistive Technology

HEART Horizontal European Activities in Rehabilitation Technology

ISMAC Instituto Sul Mato Grossense para Cegos Florivaldo Vargas

IHC Interação homem-computador

LBI Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência

NBR Normas Brasileiras

OMS Organização Mundial de Saúde

PcD Pessoa com Deficiência

PcDV Pessoa com Deficiência Visual

TA Tecnologia Assistiva

TAI Tecnologia Assistiva Inteligente

TIC Tecnologias da Informação e Comunicação

UFMS Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

UFMS-CG Cidade Universitária da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na cidade de Campo Grande

WCAG Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	Pessoas com deficiência	21
2.1.1	<u>Pessoas com deficiência: terminologia ou concepção?</u>	21
2.1.2	<u>Direitos das pessoas com deficiência</u>	23
2.1.3	<u>Abordagem inclusiva</u>	24
2.1.4	<u>Tipos de deficiência</u>	25
2.1.5	<u>Deficiência visual</u>	26
2.1.6	<u>Pessoas com deficiência visual</u>	27
2.1.7	<u>Considerações sobre as pessoas com deficiência</u>	28
2.2	Acessibilidade	28
2.2.1	<u>Tipos de acessibilidade</u>	29
2.2.2	<u>Aspectos legais da acessibilidade e as pessoas com deficiência visual</u>	30
2.2.3	<u>Desafios à acessibilidade das pessoas com deficiência</u>	31
2.2.4	<u>Plano de acessibilidade da UFMS</u>	32
2.2.5	<u>Design universal</u>	33
2.2.6	<u>Interação homem-computador</u>	35
2.2.7	<u>Diretrizes de acessibilidade para conteúdo web</u>	36
2.2.8	<u>Considerações sobre acessibilidade</u>	36
2.3	Tecnologia assistiva	37
2.3.1	<u>Contexto da tecnologia assistiva</u>	37
2.3.2	<u>Desenvolvimento de tecnologia assistiva</u>	38
2.3.3	<u>Tecnologia assistiva e as pessoas com deficiência visual</u>	39
2.3.4	<u>Tecnologia assistiva e as tecnologias da informação e comunicação</u>	40
2.3.5	<u>Considerações sobre tecnologia assistiva</u>	41
2.4	Locomoção da pessoa com deficiência visual	41
2.4.1	<u>Problemas para localização e acesso a ambientes desconhecidos</u>	42
2.4.2	<u>Considerações sobre a locomoção da pessoa com deficiência visual</u>	43
2.5	Wayfinding	44
2.5.1	<u>Criando ambientes acessíveis</u>	45
2.5.2	<u>Wayfinding e as pessoas com deficiência visual</u>	46
2.5.3	<u>Wayfinding como tecnologia assistiva</u>	48
2.5.4	<u>Considerações sobre wayfinding</u>	49
2.6	Tecnologia assistiva inteligente	49
2.6.1	<u>Inteligência artificial</u>	51

2.6.2	<u>Novas possibilidades com a tecnologia assistiva inteligente</u>	52
2.6.3	<u>Pesquisas que abordaram a tecnologia assistiva inteligente</u>	52
2.6.4	<u>Considerações sobre tecnologia assistiva inteligente</u>	53
2.7	Sistema global de navegação por satélite	53
2.7.1	<u>Sistema de posicionamento global</u>	54
2.7.2	<u>O uso do GPS em aplicações de navegação assistida</u>	54
2.7.3	<u>Inovações com os aplicativos de navegação assistida</u>	55
2.7.4	<u>Considerações sobre o sistema global de navegação por satélite</u>	56
2.8	Desenvolvimento de <i>software</i>	56
3	TRABALHOS RELACIONADOS	59
4	OBJETIVOS	63
4.1	Objetivo geral	63
4.2	Objetivos específicos	63
5	METODOLOGIA	65
5.1	Descrição da pesquisa: tipo, local, período e amostra selecionada	65
5.2	Etapas da pesquisa	65
5.2.1	<u>Etapa 1: preparação e planejamento</u>	66
5.2.2	<u>Etapa 2: elicitação dos requisitos</u>	67
5.2.2.1	Visita à UFMS	67
5.2.2.2	Levantamento e documentação dos requisitos	67
5.2.2.3	Mapeamento dos itens de acessibilidade identificados na UFMS	69
5.2.3	<u>Etapa 3: desenvolvimento da tecnologia assistiva inteligente</u>	69
5.2.3.1	Avaliação da capacidade do algoritmo em otimizar as rotas	70
5.2.3.2	Avaliação da capacidade do algoritmo em traçar as rotas na UFMS	73
5.2.3.3	Avaliação da capacidade do algoritmo em identificar os itens de acessibilidade	74
5.2.3.4	Avaliação da diferença entre a distância notificada pelo aplicativo e a distância real na identificação dos itens de acessibilidade	74
5.2.3.5	Avaliação da execução das rotas geradas	75
5.2.3.6	Avaliação das orientações fornecidas para a execução das rotas geradas	75
5.2.4	<u>Etapa 4: avaliação da tecnologia assistiva inteligente</u>	75
5.2.4.1	Avaliação das interfaces e funcionalidades com voluntários	75
5.2.4.2	Visita à UFMS	77
5.2.4.3	Análise das observações	78
5.3	Aspectos éticos	79
6	RESULTADOS	81
6.1	Etapa 1: validação do roteiro	81
6.1.1	<u>Relato da experiência com o participante</u>	81

6.1.2	<u>Validação do roteiro</u>	82
6.2	Etapa 2: elicitção dos requisitos	82
6.2.1	<u>Visita à UFMS: atividade de campo</u>	82
6.2.1.1	Recursos utilizados	87
6.2.1.2	Barreiras identificadas	87
6.2.1.3	Itens de referência	89
6.2.2	<u>Requisitos</u>	90
6.2.3	<u>Itens de acessibilidade identificados na UFMS</u>	93
6.3	Etapa 3: desenvolvimento da tecnologia assistiva inteligente	100
6.3.1	<u>Módulo traçar rota</u>	105
6.3.2	<u>Módulo custo da rota</u>	107
6.3.2.1	Avaliação da capacidade do algoritmo em otimizar as rotas	109
6.3.2.2	Avaliação da capacidade do algoritmo em traçar as rotas na UFMS	112
6.3.2.3	Avaliação da capacidade do algoritmo em identificar os itens de acessibilidade	116
6.3.3	<u>Módulo executar rota</u>	118
6.3.3.1	Avaliação da diferença entre a distância notificada pelo aplicativo e a distância real na identificação dos itens de acessibilidade	119
6.3.3.2	Avaliação da execução das rotas geradas	121
6.3.3.3	Avaliação das orientações fornecidas para a execução das rotas geradas	122
6.4	Etapa 4: avaliação da tecnologia assistiva inteligente	122
6.4.1	<u>Avaliação das interfaces e funcionalidades com voluntários</u>	122
6.4.2	<u>Visita à UFMS: atividade de campo</u>	124
6.4.2.1	Caracterização da participação dos voluntários	125
6.4.2.2	Caracterização dos ambientes	125
6.4.2.3	Problemas técnicos durante o uso do aplicativo	131
6.4.2.4	Problemas funcionais no uso do aplicativo	132
6.4.2.5	Experiências positivas com o aplicativo	135
6.4.2.6	Lista de ajustes e possíveis melhorias	137
7	DISCUSSÃO	139
7.1	Singularidade das pessoas	139
7.2	A relação das pessoas com deficiência visual com os ambientes	140
7.3	Possibilidades e desafios para auxiliar a locomoção das pessoas com deficiência visual	141
7.3.1	<u>O algoritmo para otimização das rotas</u>	141
7.3.2	<u>Desafio para a geração de rotas para pedestres</u>	142
7.3.3	<u>Acurácia do GPS e suas implicações no aplicativo</u>	142
7.4	Experiências da visita à UFMS: antes e depois do aplicativo	143
8	CONCLUSÕES	145

8.1	Trabalhos futuros	146
	REFERÊNCIAS	149
	APÊNDICES	163
	APÊNDICE A – ROTEIRO: VISITA UFMS	165
	APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ES- CLARECIDO	169
	APÊNDICE C – DETALHAMENTO DAS FUNCIONALIDADES DO APLICATIVO - SMART CANE SMART ROUTES	173

1 INTRODUÇÃO

O universo da Pessoa com Deficiência (PcD) é vasto e diverso, caracterizado por desafios específicos que requerem respeito, inclusão e a compreensão de que a diversidade é algo positivo, que deve ser honrado e apreciado, em vez de ser visto como um obstáculo ou limitação. A inclusão da PcD é um desafio enfrentado com a ajuda da Tecnologia Assistiva (TA) e da Tecnologia Assistiva Inteligente (TAI). Essas tecnologias desempenham um papel fundamental na promoção da autonomia e na melhoria da qualidade de vida das pessoas, oferecendo suporte em diversas atividades do dia a dia.

Quando se trata do desenvolvimento de TA, é importante compreender que ele vai além da simples criação de um produto, sendo necessária uma abordagem holística na sua compreensão como um ecossistema. Este ecossistema é formado por uma rede complexa de componentes interdependentes, que trabalham para atender as PcD, garantindo-lhes a oportunidade de viver vidas plenas. A abordagem abrange a TA como uma questão de saúde, inclusão e bem-estar das pessoas.

Uma barreira significativa enfrentada pela Pessoa com Deficiência Visual (PcDV) é o acesso a ambientes externos desconhecidos de maneira segura e independente. A orientação e mobilidade em locais desconhecidos podem ser desafiadoras, primeiro devido ao fato da pessoa desconhecer as condições do ambiente e, em segundo, porque não há garantia de que os ambientes ofereçam as condições adequadas de acessibilidade.

Desta forma, torna-se relevante identificar os problemas de acessibilidade enfrentados pelas PcDV ao acessarem os espaços da Cidade Universitária da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na cidade de Campo Grande (UFMS-CG) e desenvolver uma TAI que proporcione auxílio às PcDV em sua locomoção por esses locais. Uma das possibilidades é o desenvolvimento de uma TAI na forma de um aplicativo.

A participação ativa das PcDV no processo de desenvolvimento da TA é crucial e vai além de sua condição orgânica, envolvendo a compreensão de seu contexto social e funcional. As experiências e perspectivas dessas pessoas são inestimáveis para o aprimoramento das TA, e sua contribuição deve ocorrer desde a concepção de um projeto.

Este texto está organizado em mais sete capítulos. O Capítulo 2, apresenta o arcabouço conceitual e legal que orientou as ações da pesquisa. O Capítulo 3 lista os trabalhos relacionados, utilizados como base para o desenvolvimento desta pesquisa. Em seguida, no Capítulo 4, delineiam-se os objetivos da pesquisa, enquanto a metodologia utilizada é detalhada no Capítulo 5. Posteriormente, no Capítulo 6, são expostos os resultados obtidos, e a análise dos resultados é conduzida no Capítulo 7. Por fim, no Capítulo 8, são apresentadas as considerações e as possibilidades de futuros trabalhos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais para a pesquisa. Inicialmente, a seção 2.1 aborda o contexto das PcD. Em seguida, a seção 2.2 explora os fundamentos da acessibilidade. Na sequência, a seção 2.3 introduz os conceitos de TA, enquanto a seção 2.4 discorre sobre a locomoção das PcDV. Já a seção 2.5 contextualiza o sistema *wayfinding* no contexto da TA, e a seção 2.6 introduz o conceito de TAI. Por fim, a seção 2.7 apresenta o Global Positioning System (GPS) e a seção 2.8 aborda os recursos computacionais aplicados no desenvolvimento da TAI.

2.1 Pessoas com deficiência

As PcD desempenham um papel importante na trajetória da humanidade, buscando o pleno exercício da cidadania e lutando para serem reconhecidas e respeitadas em todos os âmbitos da sociedade, apesar dos desafios enfrentados ao longo da história, que incluem situações de discriminação e exclusão. No mundo há mais de um bilhão de pessoas com algum tipo de deficiência, sendo que cerca de 200 milhões ainda convivem com dificuldades para realizar as atividades funcionais, que impedem seu exercício pleno (WORLD HEALTH ORGANIZATION; THE WORLD BANK, 2011).

As últimas décadas estão marcadas pelas conquistas das PcD, e esta seção busca contextualizar o cenário, apresentando na subseção 2.1.1 as concepções utilizadas para definir PcD, a partir dos termos e conceitos utilizados. Na subseção 2.1.2, resalta-se o aparato legal das PcD, passando brevemente pelas principais legislações, enquanto a subseção 2.1.3 enfatiza a abordagem inclusiva. Na sequência, na subseção 2.1.4, são apresentadas as definições da Organização Mundial de Saúde (OMS) e da legislação brasileira para os tipos de deficiência. Por fim, as subseções 2.1.5 e 2.1.6 descrevem, respectivamente, a deficiência visual sob o aspecto médico e o contexto das PcDV, enfatizando as estatísticas e os desafios enfrentados por elas.

2.1.1 Pessoas com deficiência: terminologia ou concepção?

As definições para a palavra *deficiência*, no Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa (MICHAELIS, 2022), estão vinculadas aos termos *ausência* (ausência de funcionamento de um órgão; ausência de qualidade) e *falta* (carência, lacuna, falta de algo de que se necessita). Para além do significado do dicionário, o conceito está associado, equivocadamente, a insuficiência, falha, imperfeição e falta de valor, por vezes relacionados a um grupo de pessoas chamadas de *pessoas com deficiência*.

Antes do aprofundamento na terminologia, resgate-se a análise de Ribas (2017)

sobre a categorização das pessoas com algum tipo de característica comum (paraplégicos, surdos, cegos, entre outros) na classe das PcD. Segundo o autor, tal fato se dá historicamente, marcado principalmente no final do século XIX e início do século XX, quando pessoas com sequelas físicas ou mentais eram confinadas e agrupadas em instituições especiais. Estas instituições estão sendo abolidas, porém a sua concepção está enraizada no dia a dia da sociedade, como identificado em situações que a PcD é tratada com desdém, sob a justificativa de não se tratar de preconceito, mas sim de *proteção*.

Esta *proteção* cerceia a autonomia, independência e liberdade da PcD, o que significa que não são criadas condições para que ela se desenvolva psicologicamente, educacionalmente e socialmente. A reflexão de Ribas (2017) corrobora com o apontamento de Bernardes *et al.* (2009, p. 33) de que “cria-se uma relação na qual a pessoa com deficiência é o polo frágil e o não-deficiente passa a agir como fonte de poder.”

De volta à terminologia, diversos termos foram utilizados para se referir às pessoas que possuem algum tipo de deficiência (SASSAKI, 2014), tais como inválidos, incapacitados, crianças defeituosas, pessoas deficientes, pessoas portadoras de deficiência, pessoas com necessidades especiais, pessoas especiais, portadores de direitos especiais. Os termos variam conforme os valores vigentes, e sob a perspectiva inclusiva é fundamental que a terminologia não traga em seu escopo preconceitos, estigmas e estereótipos.

A partir do estabelecimento da Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas em 2006, promulgada no Brasil como emenda constitucional por meio do Decreto Presidencial nº 6.949/2009 (BRASIL, 2009), adotou-se o termo *pessoa com deficiência*, definido como:

Aqueles que têm impedimentos de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, os quais, em interação com diversas barreiras, podem obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdades de condições com as demais pessoas.

Com base na definição da Convenção, é evidente que as dificuldades enfrentadas pelas pessoas para enxergar, ouvir ou locomover-se não estão relacionadas exclusivamente à sua condição orgânica, mas também às suas relações com o ambiente e às condições econômicas e sociais que as cercam (FIGUEIREDO *et al.*, 2015).

Bernardes *et al.* (2009) trazem a distinção entre os termos lesão e deficiência, para retratar a realidade das PcD. Para os autores, a lesão é “uma expressão biológica isenta de sentido, ao passo que a deficiência é um fenômeno sociológico que se revela pelas inúmeras barreiras sociais restritivas”.

Para Ribas (2017), é essencial o cuidado com a linguagem, mesmo sabendo que não é possível “diminuir o estigma da palavra deficiência” na língua portuguesa. Porém, é possível ressignificá-lo em relação às condições de seres humanos “simbólicos por exce-

lência”, para extrair uma imagem verdadeira do que as PcD representam, em meio a um processo historicamente e socialmente construído.

É importante destacar que a utilização dos acrônimos PcD e PcDV ao longo do texto teve como objetivo facilitar a leitura, reforçando a perspectiva inclusiva adotada nesta pesquisa.

2.1.2 Direitos das pessoas com deficiência

As atitudes preconceituosas e discriminatórias, historicamente registradas contra as PcD, tiveram uma mudança brusca, principalmente após a Segunda Guerra Mundial, quando inúmeros soldados retornaram dos campos de batalha com algum tipo de deficiência (BONFIM, 2018). As conquistas legais dos direitos das PcD são recentes apesar de um extenso histórico e o propósito deste texto é relatar alguns dos marcos.

O marco inicial é o ano de 1975, quando a Assembleia Geral das Nações Unidas aprovou a Declaração dos Direitos das Pessoas Deficientes (UNITED NATIONS, 1975), com o intuito de promover em âmbito mundial a proteção e integração das PcD, assegurando o bem-estar e criando condições para a reabilitação delas.

No Brasil, apesar do registro de instrumentos legais estabelecidos antes da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), foi a partir da Carta Magna que os direitos de cidadania das PcD foram formalmente reconhecidos, e consolidados com a Lei nº 7.853 (Lei dos Portadores de Deficiência) (BRASIL, 1989). A Lei nº 7.853 estabeleceu as normas gerais, com intervenções previstas em cinco áreas - educação, saúde, formação profissional, recursos humanos e edificações - com o objetivo de garantir ações governamentais para assegurar o pleno exercício das PcD, tanto em âmbitos individuais quanto sociais.

A principal conquista das PcD, em âmbito internacional, foi obtida em 2007 com a assinatura da Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (UNITED NATIONS, 2007). No Brasil, em 2015, a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (LBI) instituiu o Estatuto da Pessoa com Deficiência (BRASIL, 2015), que é a referência jurídica para as PcDV, reunindo todo o conjunto de leis e regulamentos brasileiros relacionados ao tema. Essa legislação trouxe avanços significativos para garantir o exercício da cidadania a todas as PcD.

A construção da LBI iniciou no ano de 2000, com um projeto de lei submetido à Câmara dos Deputados pelo então deputado federal Paulo Paim. Ao longo dos 15 anos até a aprovação da lei, destaque para a atuação dos movimentos sociais das PcD, que se opuseram ao projeto de lei, enquanto a proposta era defendida pelos parlamentares. A oposição se deu em função da pouca participação social na redação da proposta e pelo caráter assistencialista e tutelador atribuído a ela (LÔBO, 2016). Aqui cabe uma crítica à agenda política, que, por vezes, deixa os maiores interessados à margem das

discussões, restando-lhes a oposição às propostas apresentadas, em face da possibilidade de participação na construção destas.

A agenda da **LBI** efetivou-se com a promulgação da Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (**BRASIL, 2009**), ao retomar as discussões e alinhar a redação do projeto com as premissas do tratado internacional, defendidas pelos movimentos sociais (**LÔBO, 2016**). Esta lacuna até a aprovação da lei justifica-se pela complexidade da **LBI**, no tocante à unificação da legislação para garantir os direitos das **PcD**. Ao texto final da lei foram apensados mais de 300 projetos (**LÔBO, 2016**).

O histórico do aparato legal mostra a conquista social das **PcD**, principalmente com a garantia legal de seus direitos. Porém, olhar para o passado e considerá-lo satisfatório não é adequado: são necessárias ações, no presente e no futuro, para efetivar esses direitos, garantindo a consolidação, fiscalização e atualização dos conceitos legalmente protegidos.

2.1.3 Abordagem inclusiva

A abordagem inclusiva considera o acesso de todas as pessoas, independentemente de suas habilidades ou características individuais, às diversas esferas da sociedade. Esta abordagem é extremamente importante no acesso aos serviços públicos e ao mercado de trabalho. No âmbito da educação, por exemplo, não cabe à escola classificar os alunos como "deficientes" ou "normais", mas sim adequar-se às características específicas e diversificadas deles (**KLEINA, 2012, p. 24**). A escola inclusiva é aquela que, "independentemente do estereótipo de normalidade instituído pela sociedade", atende à "diversidade apresentada pelas necessidades dos alunos nas escolas comuns" (**COSTA, 2020, p. 26**).

Usando como exemplo o acesso aos cursos superiores, não basta a garantia do direito de acesso às instituições de ensino - como garantem a Lei nº 12.711 (Lei das Cotas) (**BRASIL, 2012**) e a Lei nº 13.409 (**BRASIL, 2016**) - é necessário "promover ações para permanência com qualidade dos estudantes com deficiência nas instituições de Ensino Superior" (**PIMENTEL, 2013, p. 7**). Como aponta **Anjos (2012, p. 379)**, "a garantia do acesso, permanência e sucesso no ensino superior não é apenas uma questão de superação de limitações orgânicas ou sensoriais, mas também de pertencimento de classe".

Costa (2021, p. 132) afirma que "há que se viabilizar a transição do legal para o real", considerando que se "supere o discurso da diversidade de forma pragmática (...) concebendo a devida ênfase aos dispositivos legais e aos recursos tecnológicos como força motriz do discurso apregoado". No ambiente escolar, estas ações devem assegurar que o currículo, métodos, técnicas e recursos educativos atendam às condições dos estudantes, abrangendo todo o contexto que os cerca, incluindo os meios de transporte para o deslocamento até a escola e as condições arquitetônicas para acesso e utilização dos espaços.

2.1.4 Tipos de deficiência

Historicamente, as pessoas foram classificadas por suas características individuais, como a natureza sexual, étnica e social. No caso das PcD, a condição orgânica sempre foi a característica relevante para sua classificação, resultando no estigma que as marginalizaram na sociedade. Esta seção não foi escrita nesse contexto, mas sim na perspectiva inclusiva, com o objetivo de remover esses estigmas.

Para a categorização das doenças, a OMS mantém a Classificação Internacional de Doenças (CID) (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2022), que classifica linearmente a condição ou estado de saúde (doença, distúrbio, lesão), atribuindo um código correspondente ao aspecto biológico da pessoa. A CID é o modelo médico que considera “a deficiência como um problema da pessoa, causada diretamente pela doença, trauma ou outro problema de saúde, que requer assistência médica sob a forma de tratamento individual por profissionais.” (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2001, p. 20).

Em 2001, a OMS adotou a Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF), com o objetivo de padronizar uma linguagem e uma estrutura de trabalho multidisciplinar para descrever a saúde (estrutura do corpo e função) e os estados relacionados com a saúde (aspectos contextuais). A CIF baseia-se no modelo médico e no modelo social de incapacidade, este último descrito como “um problema criado pela sociedade e, basicamente, como uma questão de integração total dos indivíduos na sociedade” (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2001, p. 20).

A CID e a CIF classificam, respectivamente, as condições de saúde e a funcionalidade/incapacidade associadas às condições de saúde. Elas se integram nas várias perspectivas de funcionalidade, sob uma abordagem *biopsicossocial*, oferecendo uma visão que engloba as “diferentes perspectivas de saúde: biológica, individual e social” (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2001, p. 20). Sob a perspectiva inclusiva e do ponto de vista de saúde, a deficiência não é considerada uma doença e a sua classificação deve ser feita complementarmente entre as duas classificações.

Na legislação brasileira (BRASIL, 2004) as PcD são classificadas como aquelas que possuem “limitação ou incapacidade para o desempenho de atividade”. A legislação reforça o apresentado na CIF, superando o conceito de que a deficiência está relacionada meramente à condição orgânica da pessoa. Por exemplo, pode ser impossível uma pessoa com mobilidade reduzida (gestantes, obesos, idosos) subir escadas para acessar um local. Todavia, se houver disponibilidade de um elevador, o acesso é possível. De forma similar, para uma PcDV é impossível a leitura da placa de identificação de uma porta, exceto se houver a sinalização em *braille*. A deficiência, portanto, não é atributo de um indivíduo, mas sim um conjunto de condições posto a ele.

O homem, pela sua condição orgânica multissensorial, se comunica por meio do sistema sensorial. A sobrevalorização dos sentidos, nas condições colocadas pela sociedade, faz com que a capacidade de participação do homem, como ser social e produtivo, seja medida de forma mecânica, com atributos padronizados, que avaliam a sua condição orgânica. A visão é o sentido mais dominante na sociedade e desempenha um papel crítico no desenvolvimento pessoal, interpessoal e social do homem. Isso ocorre porque muitos aspectos da vida contemporânea estão organizados em torno da visão e a comunicação não verbal é predominante (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2019).

2.1.5 Deficiência visual

A deficiência visual é um tipo de deficiência sensorial que consiste na perda total ou parcial da visão. A OMS (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1973) propôs a padronização da definição dos termos *deficiência visual* e *cegueira*, com o objetivo de uniformizar os dados estatísticos e evitar problemas nas classificações utilizadas pelos países. O Brasil adotou a definição da OMS e a Portaria nº 3.128/2008 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2008) define que a PcDV é aquela que apresenta baixa visão ou cegueira. A Lei nº 14.126 (BRASIL, 2021b) incluiu as pessoas com visão monocular (pessoa que enxerga com apenas um olho), para todos os efeitos legais, na condição de PcD.

A baixa visão é definida como “quando o valor da acuidade visual corrigida no melhor olho é menor do que 0,3 e maior ou igual a 0,05 ou seu campo visual é menor do que 20º no melhor olho com a melhor correção óptica” e a cegueira é definida como “quando esses valores encontram-se abaixo de 0,05 ou o campo visual menor do que 10º” (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2008).

Estas definições se baseiam no modelo médico, que avalia as funções fisiológicas dos sistemas orgânicos. Os valores de referência da acuidade visual são baseados no CID-11, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de deficiência visual

Categoria	Acuidade visual pior que:	Acuidade visual igual ou melhor que:
0 Ausência de deficiência visual	-	0.5
1 Deficiência visual leve	0.5	0.3
2 Deficiência visual moderada	0.3	0.1
3 Deficiência visual grave	0.1	0.05
4 Cegueira	0.05	0.02
5 Cegueira	0.02	Percepção de luz
6 Cegueira	Sem percepção de luz	

Adaptado da CID-11 (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2022).

2.1.6 Pessoas com deficiência visual

De acordo com o Censo 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010), com correção da Nota Técnica 01 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018), mais de 6,5 milhões de brasileiros possuem deficiência visual, sendo aproximadamente 500 mil pessoas com cegueira e 6 milhões de pessoas com baixa visão.

Em 2020, o número de alunos com deficiência visual matriculados na educação básica no Brasil (INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA, 2020a) totalizou 79.274 (73.188 com baixa visão e 6.086 com cegueira). Nos cursos de graduação, foram registrados 18.139 alunos (15.210 com baixa visão e 2.929 com cegueira), o que equivale a cerca de 32% dos estudantes com deficiência matriculados em cursos de graduação (INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA, 2020b). A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) registrou, no 2º semestre de 2022, a matrícula de 152 estudantes com baixa visão e 11 estudantes com cegueira (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL, 2023).

As PcDV passam por um processo de reabilitação para construir ou reconstruir sua rotina. Essa rotina tem como objetivo aguçar os outros sentidos e permitir que a pessoa realize tarefas cotidianas, como cuidar da higiene pessoal, preparar refeições, fazer compras, trabalhar, estudar, utilizar transporte público, entre outras. Para realizar essas atividades é crucial que o ambiente esteja organizado e que os objetos estejam dispostos em locais acessíveis. Por exemplo, os alimentos podem ser organizados em recipientes com identificação tátil ou as peças de roupas podem ser organizadas por tipo de tecido e cor. Em determinadas situações é necessário o uso de recursos específicos, como o *braille* para leitura e escrita e a bengala para a locomoção.

Há situações em que a pessoa possui controle sobre o ambiente que frequenta, como em sua própria casa. Contudo, em outros casos, como em ambientes públicos, não há possibilidade de controle. É nesse contexto que a legislação desempenha um papel crucial, assegurando que esses espaços sejam acessíveis e adequados para todos.

Os desafios enfrentados pelas PcDV vão além das questões de acessibilidade física. Eles são também caracterizados pela desinformação e pelo preconceito, que muitas vezes as consideram incapazes, até mesmo por parte de suas próprias famílias (PINTANEL; GOMES; XAVIER, 2013). As PcDV são frequentemente alvo de piadas e comentários pejorativos (FERNANDES; DENARI, 2017), ou são confrontadas com situações que vão contra a legislação, como a negação do acesso a um espaço público com um cão-guia (FUKUHARA *et al.*, 2014).

Vale ressaltar que existem situações em que não há previsão legal ou apoio técnico para auxiliar as PcDV. Por exemplo, em lugares onde o sistema de atendimento é baseado em senhas, se o sistema usar apenas um painel digital (que fornece informações visualmente) para chamar as pessoas, as PcDV não terão conhecimento quando for a sua vez de serem atendidas. Em outro caso, ao aguardar um ônibus em um ponto, essas pessoas frequentemente precisam da ajuda de terceiros para identificar se o ônibus que se aproxima é o que estão esperando. Da mesma forma, atravessar uma rua pode ser um desafio, já que não têm como saber se existe uma faixa de pedestres ou se o sinal do semáforo está aberto para eles. No caso do semáforo, embora haja respaldo técnico, uma vez que semáforos com sinal sonoro existem, ainda não há uma base legal que garanta a disponibilidade desses recursos.

2.1.7 Considerações sobre as pessoas com deficiência

Os desafios enfrentados pelas PcD em sua busca pelo exercício pleno da cidadania estão documentados ao longo da história e abrangem diversas áreas. Esses desafios têm um impacto negativo na capacidade das PcD alcançarem a sua autonomia.

As conquistas legais têm o propósito de assegurar os direitos das PcD, apesar disso, muitas vezes falta a implementação adequada para que esses direitos se efetivem. Embora a legislação estabeleça a inclusão, a verdadeira equidade só é alcançada por meio das ações concretas e eficazes.

A Seção 2.2 explora o tema da acessibilidade e explana os conceitos que têm o propósito de concretizar o direito de locomoção das PcDV.

2.2 Acessibilidade

O conceito de acessibilidade transcende o mero acesso físico a um espaço. Acessibilidade, por definição, refere-se à facilidade de entrada ou à qualidade do que pode ser alcançado, e é delimitado pela LBI (BRASIL, 2015) como:

possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, transportes, informação e comunicação, inclusive seus sistemas e tecnologias, bem como de outros serviços e instalações abertos ao público, de uso público ou privados de uso coletivo, tanto na zona urbana como na rural, por pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida.

A acessibilidade é o contraponto às barreiras que limitam a participação social das PcD, bem como seu acesso à liberdade de movimento, expressão, comunicação, informação, entre outros aspectos (BRASIL, 2015).

A subseção 2.2.1 trata da classificação dos tipos de acessibilidade. Na sequência, a subseção 2.2.2 resgata o aparato técnico e legal relacionado às condições de acessibilidade

para PcDV. Já na subseção 2.2.3, são abordados os desafios enfrentados em relação à acessibilidade por PcDV. A subseção 2.2.4 apresenta de forma sucinta o plano de acessibilidade da UFMS. Expandindo a discussão sobre acessibilidade, a subseção 2.2.5 explora o conceito de *design* universal. Por fim, as subseções 2.2.6 e 2.2.7 analisam a acessibilidade no contexto dos computadores, explorando os conceitos de interação homem-computador e as diretrizes para acessibilidade de conteúdos *web*.

2.2.1 Tipos de acessibilidade

A LBI classifica as barreiras em seis categorias: barreiras urbanísticas, barreiras arquitetônicas, barreiras nos transportes, barreiras nas comunicações e na informação, barreiras atitudinais e barreiras tecnológicas. Cada tipo de barreira é abordado por normas e legislações específicas que têm como objetivo assegurar a acessibilidade para PcD. De acordo com Sasaki (2009), a acessibilidade é classificada em seis dimensões, que são apresentadas como contraponto às barreiras:

1. **Acessibilidade arquitetônica:** refere-se à eliminação de barreiras físicas nos ambientes, abrangendo edifícios públicos e privados, espaços urbanos e meios de transporte individuais e coletivos;
2. **Acessibilidade comunicacional:** diz respeito à eliminação de barreiras na comunicação, abrangendo diversas formas, como escrita, visual e interpessoal. Isso engloba também o acesso a recursos digitais, conhecido como acessibilidade digital;
3. **Acessibilidade metodológica:** trata da inexistência de barreiras nos métodos e técnicas empregados nas atividades do dia a dia, englobando o contexto escolar, profissional, comunitário e familiar;
4. **Acessibilidade instrumental:** relaciona-se à ausência de barreiras nos instrumentos utilizados no cotidiano, abrangendo os ambientes educacionais, de trabalho, de lazer e recreação;
5. **Acessibilidade programática:** associada à superação das barreiras frequentemente imperceptíveis, presentes em legislações e documentos oficiais (como políticas públicas), englobando normas, regulamentações institucionais e empresariais;
6. **Acessibilidade atitudinal:** refere-se à eliminação de ações discriminatórias por parte das pessoas, tais como preconceitos, estigmas e estereótipos.

A proposição de Sasaki (2009) não tem a intenção de segmentar a acessibilidade, mas sim de abranger todas as suas dimensões. O autor destaca que qualquer tipo de tecnologia, seja ela assistiva, digital ou de informação e comunicação, deve abarcar todas essas dimensões, visando proporcionar o benefício do acesso a todas as pessoas.

2.2.2 Aspectos legais da acessibilidade e as pessoas com deficiência visual

A Lei nº 10.098 (Lei da Acessibilidade) (BRASIL, 2000), que foi regulamentada pelo Decreto nº 5.296 (BRASIL, 2004), estabelece as normas e critérios para promover a acessibilidade das PcD ou mobilidade reduzida. Essa promoção se dá por meio da eliminação de barreiras em vias e espaços públicos, mobiliário urbano, edifícios, meios de transporte e comunicação.

Além da legislação, no Brasil existem normas e diretrizes de caráter técnico, conhecidas como Normas Brasileiras (NBR), que são elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. Essas normas têm o propósito de padronizar a elaboração de produtos e serviços, incluindo aspectos relacionados à acessibilidade e inclusão de PcD.

A NBR 9050 (ABNT, 2020) estabelece os critérios e parâmetros técnicos a serem observados no projeto, construção, instalação e adaptação do meio urbano e rural, assim como das edificações, em relação às condições de acessibilidade. Essa norma também faz referência a um conjunto de documentos complementares, que são essenciais para a sua aplicação. Entre esses documentos, destaca-se a NBR 16537 (ABNT, 2016), que trata especificamente da sinalização tátil no piso, uma importante medida para garantir a acessibilidade de PcDV. O piso tátil é reconhecido pela presença de relevo e contraste de luminância em relação ao piso circundante. Sua principal finalidade é alertar sobre mudanças de direção, identificar barreiras e oferecer orientação para PcDV.

Adicionalmente, a NBR 9050 estabelece os parâmetros para placas de sinalização e mapas táteis, ambos cruciais para a acessibilidade das PcDV. As placas devem conter textos e pictogramas em alto relevo, e os textos devem ser traduzidos para o código *braille*. Os mapas, por sua vez, devem apresentar informações em relevo, cumprindo a função de orientar a localização e os acessos para pessoas em ambientes internos.

Enquanto a maioria das pessoas depende principalmente da visão para perceber o ambiente ao seu redor, as normativas mencionadas têm como objetivo diminuir as barreiras e facilitar o acesso das PcDV, enfatizando a percepção tátil. Ao tocar objetos, esses se tornam pontos de referência para a orientação, e os pés percebem as diferentes texturas do solo, como grama, areia e asfalto (LORA, 2003). Cabe registrar que as outras percepções sensoriais, além do tato, são importantes na orientação e mobilidade das PcDV. A cinestesia, por exemplo, auxilia a identificação de aclives ou declives (LORA, 2003), assim como a audição, que permite a identificação de ambientes ou elementos a partir de ruídos característicos.

Voltando às NBR, elas fornecem diretrizes detalhadas para melhorar as condições de acessibilidade das pessoas, mas não garantem automaticamente a implementação das condições físicas ideais nos ambientes. Portanto, é necessário considerar que as PcD ainda enfrentam barreiras ao acessar os ambientes, dentre elas estão pisos desnivelados, pre-

sença de obstáculos (como buracos e objetos colocados em locais inadequados), carros estacionados sobre calçadas e a ausência de piso tátil. Ademais, é importante notar que as **NBR** não oferecem recursos abrangentes para abordar todas as capacidades sensoriais em diferentes situações, e a utilização de **TA** é fundamental para facilitar a acessibilidade e a identificação de ambientes por **PcDV**.

2.2.3 Desafios à acessibilidade das pessoas com deficiência

Os avanços nas legislações e normas técnicas têm contribuído para ampliar as possibilidades das **PcD** circularem com autonomia pelos espaços públicos. Ainda assim, é importante ressaltar que esses avanços não são suficientes para que as pessoas exerçam plenamente o seu direito de participação na sociedade e que existem desafios para garantir a inclusão efetiva e a igualdade de oportunidades para as **PcD**.

A análise realizada por **Silva (2014)** sobre as políticas de lazer nos parques esportivos de Campo Grande identificou que, na maioria das situações, esses ambientes são inacessíveis às **PcD**. O autor resalta que essa falta de acessibilidade resulta em uma situação de exclusão das **PcD** física e visual, que não conseguem desfrutar plenamente dos espaços de lazer devido às barreiras. Isso enfatiza a necessidade de avanços nas políticas de inclusão e acessibilidade para garantir que todos desfrutem igualmente destes espaços.

O estudo conduzido por **Silva et al. (2019)** avaliou as condições de acessibilidade para **PcDV** em aeroportos brasileiros. Os resultados indicaram que as normas e resoluções relacionadas à acessibilidade não eram adequadamente cumpridas nos aeroportos, abrangendo desde o momento do pré-embarque até o desembarque do passageiro. Isso aponta para a existência de barreiras que dificultam a experiência de viagem das **PcDV**, evidenciando a necessidade de maior atenção e esforços na implementação de ações para garantir a acessibilidade em todos os aspectos das instalações aeroportuárias.

A pesquisa de **Carvalho et al. (2020)** investigou as condições de acessibilidade das **PcD** aos serviços oferecidos pelas unidades básicas de saúde no estado de Pernambuco. Os resultados destacaram uma série de desafios enfrentados pelas **PcD** desde o momento de sair de casa até o acesso aos serviços de saúde. As dificuldades relatadas incluíram problemas nas calçadas e ruas, más condições dos ônibus, bem como barreiras nas próprias unidades de saúde, como a falta de acessibilidade em painéis eletrônicos para **PcDV** e ausência de sinalização em *braille*. Isso revela a importância de abordar as barreiras enfrentadas pelas **PcD** em diferentes etapas de suas atividades diárias, incluindo o acesso aos serviços de saúde.

Diniz e Silva (2021) abordaram as perspectivas dos estudantes com deficiência em universidades públicas no estado de Mato Grosso do Sul. Os participantes do estudo relataram diversas questões relacionadas à acessibilidade, incluindo problemas arquitetônicos que impactam negativamente suas experiências acadêmicas. Os problemas mencionados

incluíam a ausência de piso tátil, falta de banheiros adaptados, elevadores inoperantes, dificuldades de acesso devido a rampas e escadas não acessíveis, e a distância entre os blocos de salas. As autoras fazem referência ao trabalho de [Garcia, Bacarin e Leonardo \(2018\)](#), que constatou problemas similares na infraestrutura de uma universidade pública no estado do Paraná, tais como calçadas irregulares e com buracos, instalação inadequada de piso tátil e ausência de sinalização. Esses estudos destacam a necessidade contínua de melhorias na acessibilidade em instituições de ensino superior, com o objetivo de garantir que estudantes com deficiência possam participar plenamente da vida acadêmica.

A ausência de acessibilidade no ambiente universitário representa um desafio significativo para a permanência e sucesso acadêmico das PcD. Apesar da legislação que prevê a reserva de vagas para esses estudantes, é essencial ir além e fornecer recursos e suportes que garantam não apenas o acesso, mas também a continuidade e conclusão bem-sucedida de seus cursos. Em uma tese elaborada por [Castro \(2011\)](#), um estudante com deficiência compartilha a experiência de que, mesmo após superar as barreiras para ingressar na universidade, a falta de acessibilidade adequada dificultava sua permanência. Esse relato reflete a necessidade de um ambiente inclusivo que vá além do acesso físico, abordando as barreiras que podem surgir ao longo do caminho acadêmico, e destacando a importância de garantir que todos os estudantes, independentemente de suas especificidades, tenham as condições necessárias para ter sucesso durante sua trajetória universitária.

É de suma importância que as instituições públicas, em todas as esferas e setores, cumpram e efetivem as normas e legislações vigentes relacionadas à acessibilidade. A subseção 2.2.4 traz à tona o Plano de Acessibilidade da UFMS, evidenciando as iniciativas e estratégias implementadas para aprimorar a mobilidade das pessoas na universidade. Isso reflete o compromisso em criar um ambiente mais inclusivo e acessível para todos os membros da comunidade acadêmica, demonstrando uma preocupação genuína em promover a igualdade de oportunidades e garantir que estudantes, professores, funcionários e visitantes com deficiência possam participar plenamente da vida universitária.

2.2.4 Plano de acessibilidade da UFMS

O Plano de Acessibilidade da UFMS representa um marco significativo em direção à promoção da acessibilidade e inclusão na instituição ([UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL, 2022a](#)). Aprovado e posto em prática a partir do ano 2021, o plano tem um horizonte de execução que abrange o período entre os anos de 2020 e 2024, alinhando-se com o Plano de Desenvolvimento Institucional da universidade ([UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL, 2022b](#)).

A implementação da política de acessibilidade na UFMS começou em 2005, marcando um passo importante em direção à criação de um ambiente mais inclusivo e acessível para estudantes e servidores com deficiência. O crescimento no número de PcD na uni-

versidade destacou a necessidade contínua de aprimorar e adaptar os espaços físicos, bem como a documentação, o apoio estudantil e o acesso à informação ([UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL, 2022a](#)).

O plano é organizado em eixos estratégicos, e um deles está focado na infraestrutura acessível, abrangendo a implementação das rotas acessíveis. Essas rotas visam remover barreiras físicas ao longo dos percursos, englobando vias internas, rampas de acesso, travessias, pontos de ônibus, calçadas externas e elevadores.

Dentre as ações propostas para as rotas acessíveis, é importante ressaltar: a disponibilização de identificação multilíngue para os espaços, a criação de corredores amplos, a instalação de *totens* de identificação visual para os espaços físicos, a implementação de sinalização visual para orientar as rotas, e a utilização de *totens* digitais, inclusive com acesso ao mapa da [UFMS-CG](#).

O plano da [UFMS](#) desempenha um papel fundamental na eliminação das barreiras e na contínua manutenção da infraestrutura acessível. Ao mesmo tempo, é imperativo reconhecer que, apesar das ações em andamento, ainda existem lacunas a serem preenchidas. Um exemplo disso é o acesso ao prédio da Faculdade de Medicina, que carece de um calçamento apropriado e de piso tátil. Além disso, é importante considerar que, mesmo com os esforços de mitigação das barreiras, novos obstáculos podem surgir, e algumas barreiras podem não estar abrangidas pelas legislações vigentes e, conseqüentemente, pelo plano da universidade.

A acessibilidade não se destina exclusivamente às [PcD](#), mas a todos. [Sasaki \(2009\)](#) destaca que se a acessibilidade é projetada seguindo os princípios do *design* universal, todas as pessoas são beneficiadas.

2.2.5 Design universal

O conceito de *design universal* originou-se do termo em inglês *universal design*, proposto por Ronald Mace em 1985. Ele representa uma abordagem de *design* que transcende o aspecto visual, abrangendo os elementos que devem estar presentes na concepção de qualquer recurso, seja objeto, sistema, ambiente ou serviço ([MITRASINOVIC, 2008](#)).

Embora se identifique o uso da tradução *desenho universal* para o conceito, como na [LBI, Pereira \(2017\)](#) enfatiza que a tradução para *projeto universal* é a que melhor representa a abordagem intrínseca. Essa abordagem envolve um planejamento que compreende o conjunto de instruções e determinações necessárias para a construção de edifícios, produtos ou serviços, em contraste com o modelo que associa o termo *desenho* exclusivamente a projetos arquitetônicos e urbanísticos.

O *design* universal transcende a mera prática de adaptação ou criação de novos recursos para atender as especificidades. Ele está relacionado com a concepção de que

a criação desses recursos é fundamentada na premissa de que todas as pessoas possam utilizá-los. Em outras palavras, parte-se do princípio de que os recursos são concebidos desde o início de forma acessível (SASSAKI, 2009).

Durante os anos 90, um coletivo de arquitetos, *designers* de produtos, engenheiros e pesquisadores em *design* ambiental, pertencentes ao Center for Universal Design da North Carolina State University, formulou os sete princípios do *design* universal (CONNELL *et al.*, 1997). A seguir, estão resumidamente descritos esses princípios:

1. **Uso equitativo:** o recurso é projetado para ser útil para pessoas com uma variedade de capacidades, utilizando preferencialmente o mesmo método de uso para todos os usuários, ou um método equivalente quando necessário;
2. **Flexibilidade no uso:** o recurso é projetado para atender a uma ampla gama de preferências e habilidades individuais, oferecendo opções para adaptação de acordo com o ritmo do usuário.;
3. **Uso simples e intuitivo:** o recurso é projetado de forma a ser utilizado sem necessidade de experiência prévia por parte do usuário, atendendo a uma variedade de capacidades linguísticas e níveis de instrução;
4. **Informação perceptível:** o recurso fornece informações necessárias de maneira eficaz, independentemente das condições ambientais ou das habilidades sensoriais do usuário;
5. **Tolerância ao erro:** o recurso minimiza os riscos e as consequências adversas de ações acidentais ou não intencionais;
6. **Baixo esforço físico:** o recurso pode ser usado de forma eficiente e confortável, de maneira que permita ao usuário manter uma posição neutra do corpo, minimizando o esforço físico;
7. **Tamanho e espaço para aproximação e uso:** o recurso deve fornecer tamanho e espaço apropriados para a aproximação, alcance, manipulação e uso, independentemente do tamanho do corpo, postura ou mobilidade do usuário.

O *design* universal abrange todos os aspectos de um projeto, destinados a atender às necessidades de uma ampla variedade de situações, incluindo o desenvolvimento de *software*. No processo de desenvolvimento de *software*, existem outros elementos que complementam os princípios do *design* universal. Esses elementos são abordados na subseção 2.2.6.

2.2.6 Interação homem-computador

A preocupação com estudos sobre a interface de interação entre computadores e seres humanos surgiu na década de 1970, quando a interface do computador foi conceituada como um protocolo de comunicação para entrada de dados pelos usuários e saída de dados pela máquina (PREECE *et al.*, 1994). O termo Interação homem-computador (IHC) surgiu nos anos 1980, sendo definido como uma área "que se preocupa com o projeto, avaliação e implementação de sistemas de computação interativa para uso humano e com o estudo dos principais fenômenos que os envolvem" (HEWETT *et al.*, 1992, p. 5).

Sua aplicação ocorre em várias disciplinas, cada uma com diferentes ênfases. Isso inclui o *design* de aplicativos e a engenharia de interfaces humanas (ciência da computação), a aplicação de teorias cognitivas e a análise empírica do comportamento do usuário (psicologia), as interações entre tecnologia, trabalho e organização (sociologia e antropologia) e produtos interativos (desenho industrial) (HEWETT *et al.*, 1992).

A IHC se caracteriza por métodos para projetar e desenvolver *softwares* baseado em três princípios: usabilidade, comunicabilidade e acessibilidade. A usabilidade diz respeito à facilidade de uso e interação com o usuário, ou seja, "quanto mais usabilidade tem um sistema, mais eficaz, eficiente, fácil de aprender, seguro e útil ele é" (JOÃO, 2017, p. 11). A comunicabilidade está associada à capacidade do usuário compreender as intenções e decisões do sistema e do sistema em fornecer os recursos necessários para a comunicação com o usuário (SILVA; BARBOSA, 2010). A acessibilidade completa a tríade, pois de nada adianta uma interface fácil de usar e altamente comunicativa se existirem barreiras para o acesso ao sistema. Pessoas podem ser excluídas do acesso a sistemas interativos por diferentes motivos, incluindo aspectos físicos, econômicos e sociais. Isso ocorre quando os dispositivos de entrada e saída não são compatíveis com as habilidades do usuário, quando o usuário não tem meios para adquirir tecnologia essencial e quando o equipamento está disponível apenas em horários e locais específicos (BENYON, 2011).

Para evitar problemas econômicos e sociais, é essencial que os recursos não exijam a aquisição de novos dispositivos; em vez disso, os usuários devem ser capazes de utilizar os recursos a partir dos dispositivos já disponíveis. Sob essa premissa, o desenvolvimento de um novo equipamento para auxiliar PcDV pode ser inviável, mas incluir um recurso no *smartphone*, que faz parte do cotidiano delas em geral, é uma alternativa viável.

Além dos princípios mencionados, existem normativas que orientam o desenvolvimento de *software* para cumprir os princípios de acessibilidade. Existe um consórcio internacional (World Wide Web) no qual organizações filiadas colaboram para desenvolver protocolos e diretrizes para a *web* (W3C, 2022b). A subseção 2.2.7 apresenta as Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web (WCAG) mantidas pelo consórcio.

2.2.7 Diretrizes de acessibilidade para conteúdo web

A **WCAG** traz diretrizes que têm como objetivo tornar o conteúdo da *web* acessível ao maior número de pessoas, incluindo as **PcD** visual, auditiva, física, de fala, intelectual, de linguagem, de aprendizagem e neurológica (**W3C**, 2022a).

Utilizada por um grupo heterogêneo, que inclui programadores, *web designers*, legisladores e pesquisadores, a **WCAG** está organizada hierarquicamente em quatro princípios globais (**W3C**, 2022a):

1. **Perceptível:** enfatiza que as informações e os componentes da interface do usuário devem ser apresentados de forma que possam ser percebidos pelo usuário. Isso inclui a inclusão de legendas e audiodescrição em vídeos, bem como a disponibilização de alternativas textuais para todo o conteúdo não textual;
2. **Operável:** destaca que os componentes da interface do usuário e a navegação devem ser operáveis. Isso implica possibilitar a entrada de dados por meio do teclado como alternativa ao mouse e garantir que qualquer elemento operável por teclado tenha um indicador de foco visível.
3. **Compreensível:** realça a importância de tornar a informação e a operação da interface do usuário compreensíveis. Isso inclui a apresentação do significado de palavras incomuns e abreviações, bem como a identificação automática de erros de entrada, acompanhada da apresentação do erro em texto para o usuário;
4. **Robusto:** salienta que o conteúdo deve ser robusto o suficiente para ser interpretado de forma confiável por uma ampla variedade de usuários. Por exemplo, todos os componentes da interface que o usuário possa definir estados, propriedades ou valores devem ser compatíveis com leitores de tela, garantindo a acessibilidade para **PcDV** e outras necessidades especiais;

Os princípios consistem em 13 diretrizes que estabelecem os objetivos fundamentais que os autores devem alcançar. Para cada diretriz, são fornecidos critérios e técnicas testáveis.

2.2.8 Considerações sobre acessibilidade

A efetivação do direito de ir e vir das pessoas está intrinsecamente ligada à acessibilidade dos ambientes. A garantia da equidade na realização das atividades do cotidiano está diretamente relacionada à acessibilidade de todos os recursos presentes no contexto das pessoas.

Os conceitos apresentados abordam os elementos técnicos necessários para o desenvolvimento de recursos com o objetivo de proporcionar acessibilidade. Apesar disso,

é importante considerar que a sociedade está em um processo de transição em direção à acessibilidade, o que implica que muitos recursos ainda não possuem as condições adequadas. Isso pode ocorrer devido a falta dos elementos técnicos necessários no momento de seu desenvolvimento ou ao não cumprimento da legislação.

A Seção 2.3 aborda a temática da TA e detalha os recursos que as pessoas utilizam para reduzir o impacto das barreiras em sua interação com o ambiente.

2.3 Tecnologia assistiva

O termo *tecnologia* é comumente interpretado, no senso comum, como sinônimo de recursos eletrônicos, computacionais e de robótica. Não é necessário recorrer a definições formais para perceber que essa compreensão é superficial e limitada para o conceito de tecnologia. O Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa (MICHAELIS, 2022) apresenta uma definição abrangente da palavra *tecnologia*, descrevendo-a como um "conjunto de processos, métodos, técnicas e ferramentas relativos à arte, indústria, educação, etc". Essa definição é a que melhor reflete o contexto da palavra *tecnologia* no termo *tecnologia assistiva*, referindo-se ao conceito como o "conhecimento técnico e científico e suas aplicações a um campo particular".

A contextualização de TA é fornecida na subseção 2.3.1. A subseção 2.3.2 apresenta os conceitos que guiam o processo de desenvolvimento de TA. A subseção 2.3.3 discute a TA no contexto das PcDV, e a subseção 2.3.4 aborda a relação entre a TA e as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC).

2.3.1 Contexto da tecnologia assistiva

A TA é qualquer recurso de uso pessoal e individual que auxilia na realização das atividades diárias das PcD (GARCÍA, 2017). Essa tecnologia garante o direito das pessoas se integrarem à sociedade. O conceito oficial de TA no Brasil é apresentado na LBI (BRASIL, 2015):

Produtos, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivem promover a funcionalidade, relacionada à atividade e à participação da pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida, visando à sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.

Apoiado no que preconiza a LBI, dois são os principais esforços em relação às TA:

1. Promover o desenvolvimento, disponibilidade e utilização de novas tecnologias, a fim de fornecer recursos que promovam a autonomia, mobilidade e qualidade de vida das PcD;

2. Assegurar que as pessoas tenham conhecimento e acesso aos recursos com custo acessível.

O relatório da 71^a Assembleia da OMS (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2018) destaca que apenas uma em cada 10 pessoas que necessitam de recursos de TA tem acesso a eles. Isso se deve principalmente ao alto custo de aquisição, à falta de disponibilidade, ao desconhecimento e à escassez de pessoal treinado. Por exemplo, o relatório aponta que cerca de 200 milhões de pessoas com baixa visão não têm acesso a nenhum dispositivo de TA.

A OMS coordena o Global Cooperation on Assistive Technology (GATE), que tem como objetivo melhorar o acesso global a produtos de TA de alta qualidade e com preços acessíveis (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2018). A iniciativa GATE concentra suas ações em um ecossistema composto por cinco áreas (5P) - pessoas, políticas, produtos, provisão e pessoal. Ela preconiza a necessidade de políticas que promovam e expandam a coleta de dados e mecanismos financeiros para promover as TA, bem como a oferta de produtos de qualidade e economicamente acessíveis, e profissionais devidamente treinados para uma prestação de serviços eficaz. Todos esses esforços são direcionados para colocar as pessoas (os usuários das TA e suas famílias) no centro do processo, garantindo assim que os recursos atendam plenamente as PcD (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2018).

No Brasil, o Decreto Presidencial nº 10.645 (BRASIL, 2021a) regulamentou o artigo 75 da LBI, estabelecendo diretrizes, objetivos e eixos para o Plano Nacional de Tecnologia Assistiva. Entre as diretrizes do decreto, destacam-se:

- Eliminar as barreiras à inclusão social por meio do acesso e uso da TA;
- Fomentar a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação para a criação e implementação de TA;
- Priorizar ações direcionadas ao desenvolvimento da autonomia e independência individual.

Para que as TA tenham um impacto positivo na vida das PcD, é crucial alinhar as necessidades da pessoa com o recurso e, acima de tudo, garantir que a pessoa se aproprie da TA (DU TOIT *et al.*, 2018). A subseção 2.3.2 apresenta alguns elementos que seguem essa premissa e alinham o processo de desenvolvimento das TA ao contexto das PcD.

2.3.2 Desenvolvimento de tecnologia assistiva

A OMS define a TA como a aplicação sistematizada de conhecimentos e habilidades para o desenvolvimento de produtos, sistemas ou serviços que auxiliem as pessoas.

Ela é classificada como um subconjunto das tecnologias de saúde ([WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2016](#)).

O desenvolvimento de [TA](#) deve ser conduzido de maneira multiprofissional e interdisciplinar ([BERSCH, 2017](#)). Enquanto os profissionais de saúde avaliam as necessidades e condições dos usuários, especialistas de outras áreas contribuem para a concepção da [TA](#), combinando suas experiências para atender às necessidades das [PcD](#).

Nesta pesquisa, assume-se a concepção de que o desenvolvimento de [TA](#) deve ter como foco central a pessoa e não a tecnologia. Em outras palavras, não se trata de fazer com que a pessoa se adapte à tecnologia, mas sim de garantir que a tecnologia atenda às necessidades da pessoa ([COOK; POLGAR, 2015](#)).

O desenvolvimento de [TA](#), que não leva em consideração a atenção à saúde e o contexto do usuário, pode resultar em erros fundamentais que conduzem a um recurso que não atende às necessidades do usuário ou que requer muitas iterações para se chegar a um produto satisfatório. Para evitar esses erros, [Cook e Hussey \(1995\)](#) propuseram o modelo Human Activity Assistive Technology ([HAAT](#)).

O modelo [HAAT](#) serve como uma referência para o desenvolvimento, pesquisa e avaliação inicial ou contínua de [TA](#). Ele considera um ecossistema composto pela pessoa (*Human*) que realiza uma ação (*Activity*) utilizando um recurso (*Assistive Technology*) em um ambiente (*Context*). O modelo pressupõe que, no processo de desenvolvimento de uma [TA](#), é necessário primeiro identificar as necessidades da pessoa e, em seguida, determinar o recurso a ser desenvolvido. O processo está centrado na pessoa e não na tecnologia em si ([COOK; POLGAR, 2015](#)).

Assim como o processo de desenvolvimento da [TA](#) deve levar em consideração as particularidades do indivíduo, a escolha de uma [TA](#) já existente também deve ser feita com cuidado. Na subseção 2.3.3, são discutidas de forma específica as [TA](#) projetadas para auxiliar as [PcDV](#), apresentando os principais recursos e explorando as possibilidades de avanços nesse campo.

2.3.3 Tecnologia assistiva e as pessoas com deficiência visual

Ao abordar o uso de [TA](#) por [PcDV](#), é comum a associação ao uso da bengala e do sistema *braille*, que são recursos fundamentais para auxiliar nas atividades cotidianas dessas pessoas. O *braille* é um sistema universal de leitura e escrita para [PcDV](#), inventado por Louis Braille em 1825, que representa uma conquista significativa para a educação e a integração social das [PcDV](#) ([LEMOS; CERQUEIRA, 2017](#)). O uso da bengala tem como objetivo auxiliar a pessoa na detecção de barreiras, oferecer proteção, transmitir informações sobre a textura das superfícies em contato e alertar sobre mudanças verticais na posição ([WEID, 2015](#)). Durante o treinamento em orientação e mobilidade, as parti-

cularidades e necessidades de cada indivíduo são avaliadas, adaptando-se assim o uso da bengala.

A orientação e mobilidade são áreas de reabilitação voltadas para **PcDV**, com o objetivo de proporcionar autonomia em sua locomoção e integração social. Através do aprendizado do uso dos outros sentidos, a **PcDV** passa a obter informações sobre o ambiente e a se orientar (FELIPPE, 2018).

Além da bengala, Felipe (2018) menciona outras quatro formas de locomoção para **PcDV**: com ajuda de outra pessoa (guia vidente); usando o próprio corpo (autoproteção); usando um animal (cão-guia); e usando recursos eletrônicos de orientação. A escolha do recurso deve ser feita de acordo com as expectativas e as possibilidades de cada pessoa, com base no quadro clínico e nas suas experiências.

Existem também recursos que possibilitam melhorar o desempenho visual de pessoas com baixa visão, que podem ser classificados em quatro tipos: ópticos (óculos, lupas de mão, lupas de apoio), eletrônicos (*software* leitores de tela e ampliadores de tela), não ópticos (controle da iluminação, aumento do contraste) e não visuais (teclas configuráveis que associam a imagem ao som, *software* de conversão de imagens em texto) (FIGUEIREDO *et al.*, 2015).

Uma variedade de outros recursos podem ser mencionados, tais como: régua para assinatura, utilizada como guia para assinatura de documentos; audiodescrição, que permite acesso a conteúdos visuais veiculados em qualquer tipo de mídia, através da tradução em palavras de toda informação visual relevante; *smartphone*, que com o uso do leitor de tela permite a pessoa acessar funções importantes para o seu cotidiano, tais como o relógio, a agenda de compromissos e os horários das linhas de ônibus (NUNES; DANDOLINI; SOUZA, 2014).

Dentre essa ampla variedade de recursos, torna-se cada vez mais comum o surgimento e uso de **TIC** como apoio às **PcDV**. Na subseção 2.3.4, são apresentadas algumas considerações sobre a aplicação das **TIC** como recursos de **TA**.

2.3.4 Tecnologia assistiva e as tecnologias da informação e comunicação

Tecnicamente, no âmbito computacional, as **TIC** são divididas em duas categorias: recursos de *software* e recursos de *hardware*. Os recursos de *software* são aplicativos projetados para uso em computadores de uso geral, como computadores *desktop*, *notebooks*, *tablets* ou *smartphones*. Enquanto isso, os recursos de *hardware* são dispositivos físicos projetados especificamente para um propósito e que trabalham em conjunto com um *software*. Exemplos de recursos de *software* desenvolvidos para **PcDV** incluem os leitores de tela *Talkback* e *VoiceOver*. Como exemplo de recurso de *hardware*, pode-se citar a *Linha Braille*, que tem a função de exibir dinamicamente em *braille* as informações da tela do

computador, como por exemplo o conteúdo de um livro digitalizado (REIS, 2013).

Elmannai e Elleithy (2017) apresentam as perspectivas e desafios das pesquisas que desenvolvem TA para PcDV, utilizando sensores como recursos de *hardware*. Os autores destacam que as limitações das pesquisas incluem a busca por novos dispositivos sem considerar aqueles que já existem e a falta de alinhamento com as reais necessidades das PcDV.

Além de reforçar a abordagem do ecossistema da iniciativa GATE (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2018), que coloca os usuários no centro do processo de promoção das TA, a análise de Elmannai e Elleithy (2017) destaca a importância de evitar uma abordagem prematura e míope, que considera apenas a aplicação dos recursos computacionais como suficiente para o sucesso da TA, assim como é igualmente cético ignorar o seu uso. É necessário manter um equilíbrio constante entre a reprodução do desenvolvimento até o momento alcançado e a renovação para enfrentar os novos desafios.

Neste equilíbrio, entre possibilidades e cautela, o uso das TIC como TA vai além da invenção de novos recursos, incluindo em seu conceito a possibilidade de atribuir *inteligência* a esses recursos e criar uma TAI.

2.3.5 Considerações sobre tecnologia assistiva

A TA é fundamental para as PcD e vão além do universo de dispositivos ou equipamentos, abrangendo também metodologias, estratégias, práticas e serviços que visam proporcionar autonomia e independência à PcD.

A discussão sobre a TA é uma questão de saúde, e as autoridades de saúde em todo o mundo trabalham não apenas no desenvolvimento de novos recursos, mas também na garantia do acesso a produtos de alta qualidade a preços acessíveis.

As TIC apresentam um grande potencial para oferecer recursos de TA, tanto na possibilidade de serem usadas de maneira semelhante à TA convencional quanto na capacidade de criar novas possibilidades por meio da aplicação de recursos *inteligentes*.

Antes de explorar essa perspectiva da TAI, a seção 2.4 aborda a problemática enfrentada pelas PcDV no processo de locomoção e na identificação de ambientes, mesmo quando fazem uso de TA.

2.4 Locomoção da pessoa com deficiência visual

As pessoas usam seus órgãos sensoriais para criar mapas mentais dos ambientes e determinar a disposição relativa das diferentes partes de um espaço. Neste contexto, o termo *mapeamento cognitivo* se refere à representação mental das rotas e caminhos de um ambiente, que é utilizada como auxílio para a locomoção (TOLMAN, 1948). Quando

uma pessoa não está familiarizada com um ambiente, ela não tem elementos de referência que forneçam orientação sobre sua localização. Para uma pessoa vidente, uma análise visual rápida do ambiente pode ser suficiente para obter as referências necessárias para se locomover e evitar as barreiras físicas do ambiente.

Contudo, para uma PcDV, realizar esse mapeamento é impossível. A alternativa é recorrer ao uso de TA, como a bengala, ou contar com a ajuda de terceiros. Koustriva e Papadopoulos (2012) identificaram que a habilidade de uma PcDV em reconhecer espacialmente um ambiente depende do desenvolvimento de outras habilidades. Quanto mais preciso for o mapeamento cognitivo, mais fácil e eficaz se tornam os julgamentos sobre a direção a seguir. Desta forma, a ausência de um mapeamento cognitivo adequado e de informações descritivas do ambiente são desafios significativos para a locomoção das PcDV.

O estudo de Paredes *et al.* (2013) ressalta a importância de sistemas de apoio à mobilidade e locomoção para PcDV, especialmente quando se trata do deslocamento por ambientes desconhecidos. Já a pesquisa de Benabidvw e AlZuhair (2014) identificou a necessidade e importância de uma descrição prévia dos espaços. Isso permite que os marcos físicos, como escadas, declives, elevadores e textura da superfície de paredes e pisos, sejam utilizados como referência na construção do mapeamento cognitivo pela PcDV.

Dentre os desafios enfrentados pelas PcDV ao se locomoverem, estão a detecção e identificação de barreiras, a ausência de orientações de navegação em tempo real (especialmente em áreas críticas com intersecções ou barreiras) e a falta de informações contextuais, como a distância até o destino e pontos de referência em relação à localização atual (NAWAZ; KHAN; BASHIR, 2020).

Retornando ao contexto da UFMS, a reserva de vagas para PcD é fundamental para promover a equidade. Ainda assim, é necessário considerar outros desafios que elas enfrentam para efetivar e consolidar o direito de frequentar a universidade. Um desses desafios é a localização e o acesso a ambientes desconhecidos, conforme apresentado na subseção 2.4.1.

2.4.1 Problemas para localização e acesso a ambientes desconhecidos

Em espaços públicos amplos, como a UFMS-CG, existem problemas relacionados à acessibilidade que vão além dos aspectos mencionados anteriormente. Um desses problemas é a identificação da localização geográfica dos espaços e das rotas para acessá-los. Vale ressaltar que essa problemática não se limita à UFMS-CG, sendo uma questão que se estende a diversos outros ambientes, com destaque para os espaços públicos.

Considere o exemplo de uma pessoa recém-aprovada como estudante da UFMS, que não está familiarizada com as dependências da universidade e chega à UFMS-CG

para efetuar sua matrícula. O primeiro desafio é encontrar o prédio, bloco ou sala onde a matrícula deve ser realizada, seguido pela dificuldade de identificar a rota adequada para chegar ao destino. Além disso, há a necessidade de monitorar e evitar possíveis barreiras que possam estar presentes nos espaços.

O monitoramento das barreiras é o desafio mais elementar, especialmente quando a pessoa possui acesso a TA, como uma bengala. Apesar de ser um recurso simples, popular e acessível, a bengala não proporciona todas as condições necessárias para que a pessoa tenha uma mobilidade segura (ELMANNAI; ELLEITHY, 2017).

Como uma tentativa de abordar o problema da localização dos ambientes e das respetivas rotas de acesso, foram instaladas placas indicativas e *totens* de identificação visual na entrada dos prédios da UFMS-CG. Entretanto, esses recursos não abrangem todos os espaços, e para uma PcDV eles são imperceptíveis.

Se considerarmos que a pessoa pode identificar o prédio visualmente ao se aproximar do mesmo ou que ela pode perguntar a outra pessoa sobre o local que deseja acessar, o problema parece trivial. Mas, se considerarmos esse fato na perspectiva das PcDV, ele não é elementar. Para identificar o ambiente e a rota, elas necessitam do auxílio de outras pessoas, prejudicando o desenvolvimento de sua autonomia e refletindo desfavoravelmente em sua ascensão pessoal.

A UFMS possui uma ferramenta digital, disponível no site oficial¹, que permite a identificação do prédio em que um determinado ambiente está localizado. Todavia, a ferramenta é acessível apenas pelo navegador de um computador, como uma página *web*, e não fornece informações sobre o contexto do ambiente, como os elementos de acessibilidade e as rotas de acesso.

Para Smith e Penrod (2010), um sistema de mobilidade humana deve prover as funções de detecção e prevenção de barreiras, bem como a previsão da rota a seguir e orientações quanto a pontos de referência. O desenvolvimento de um sistema de mobilidade com essas características pode ser alcançado por meio da exploração do conceito de *wayfinding*, que é apresentado na seção 2.5.

2.4.2 Considerações sobre a locomoção da pessoa com deficiência visual

Apesar de toda a estrutura técnica e legal em prol da acessibilidade, é necessário considerar as brechas que impactam negativamente a consolidação dos direitos das PcDV. A locomoção por ambientes desconhecidos representa uma dessas situações. Na ausência de recursos que levem em conta essas peculiaridades, a PcDV enfrenta dificuldades para realizar as atividades com autonomia.

¹ Acesso ao mapa dos espaços físicos da UFMS-CG. Disponível em: <https://agendamentos.ufms.br/localizacao>

A seção 2.5 apresenta o conceito de *wayfinding*, com o objetivo de utilizá-lo como recurso para o desenvolvimento de um sistema de mobilidade humana que auxilie na locomoção das PcDV em ambientes desconhecidos.

2.5 Wayfinding

O termo *wayfinding*, em tradução literal para a língua portuguesa, significa *orientação*. Dentre a variedade de significados que esse termo pode abarcar, o conceito aqui adotado é o de Passini (1984), que define o *wayfinding* como a habilidade, tanto cognitiva quanto comportamental, de uma pessoa alcançar um destino. Isso ocorre com base no processamento de informações do ambiente, obtidas por meio dos órgãos dos sentidos, o que implica na tomada de decisões e na execução dessas decisões para resolver problemas relacionados ao espaço.

A definição de Kandalan e Namuduri (2020) complementa a concepção assumida, descrevendo o *wayfinding* como o conjunto de movimentos necessários para alcançar um destino. Nesse processo, a pessoa utiliza seus conhecimentos sobre a localização inicial e as atualizações constantes obtidas durante o deslocamento pelo caminho.

Golledge (2004) distingue o conceito de *wayfinding* do conceito de navegação: o primeiro refere-se à capacidade da pessoa identificar uma rota, aprendê-la e reutilizá-la quando necessário. O segundo limita-se ao uso deliberado de recursos que auxiliam na execução de uma rota.

Uma rota, também batizada de caminho, é um segmento que conecta dois pontos selecionados entre uma rede de *nós*, os quais estão interligados por *links* (GOLLEDGE, 2004). Durante a execução de uma rota com base no *wayfinding*, espera-se que a pessoa seja capaz de (GOLLEDGE, 2004):

- Selecionar a sequência de *nós* para chegar ao destino;
- Armazenar as informações da rota, para que ela seja futuramente traçada ou executada inversamente;
- Identificar pontos de referência na rota;
- Examinar as informações armazenadas para permitir a reorganização da rota quando necessário;
- Identificar o destino quando de sua aproximação.

Ao longo da história, o ser humano tem utilizado elementos naturais e construídos como pontos de referência ao seguir uma rota, não apenas para determinar sua localização, mas também para orientar-se na direção desejada. A sinalização desempenha um papel

crucial ao fornecer marcadores e pontos de referência para auxiliar na locomoção de recém-chegados a um ambiente. Ela desempenha um papel fundamental em minimizar o risco de desorientação (GOLLEDGE, 2004).

Para Golledge (2004), o ato de se perder no contexto de *wayfinding* indica que a pessoa não tem conhecimento de sua localização atual, da rota a seguir, ou de como encontrar seu destino. Os pontos de referência desempenham um papel crucial, pois têm a função de indicar o destino final ou pontos intermediários de uma rota. Esses pontos são essenciais para que a pessoa possa confirmar a execução da rota, seja ela completa ou apenas uma parte dela, auxiliando na tomada de decisão sobre os próximos passos a seguir.

Os objetos e características marcantes de um ambiente, assim como a presença de pontos de referência com formas distintas e facilmente identificáveis, compõem a esfera que Golledge (2004) apresenta como a *legibilidade* do ambiente. Para o autor, a legibilidade do ambiente é formada pela combinação das características físicas e funcionais, ou seja, pela relação entre os elementos identificáveis do ambiente (características e relações espaciais entre eles) e a facilidade com que as pessoas podem encontrar uma rota em um ambiente.

As sinalizações e os pontos de referência podem ser inseridos intencionalmente nos ambientes. Essa é uma das estratégias utilizadas na criação de ambientes acessíveis. A subseção 2.5.1 retoma a discussão sobre acessibilidade e sua associação ao *wayfinding*, abordando a criação de ambientes acessíveis.

2.5.1 Criando ambientes acessíveis

A legibilidade do ambiente não está necessariamente relacionada à sua acessibilidade. Um ambiente legível é aquele no qual a pessoa consegue facilmente identificar os elementos do ambiente e traçar uma rota de acesso a um destino. Em um ambiente legível, é possível planejar uma rota, mas não necessariamente executá-la, visto que essa característica está relacionada à acessibilidade.

A modificação física do ambiente, como a remoção de barreiras, a instalação de itens de sinalização e a criação de novas rotas, é importante não apenas para aumentar a legibilidade do ambiente, mas também para torná-lo acessível. O plano de acessibilidade da UFMS, mencionado na seção 2.2.4, é um exemplo de um conjunto de modificações que engloba melhorias tanto na acessibilidade quanto na legibilidade do ambiente.

Não há consenso quanto uma forma ou métrica para medir o nível de acessibilidade e legibilidade de um ambiente (GOLLEDGE, 2004). Porém, Church e Marston (2003) apontam a importância de assumir uma abordagem para permitir a avaliação das condições de acessibilidade e propõem um *framework* de avaliação. O *framework* leva em conta as métricas de distância, tempo e custo da rota ao calcular a acessibilidade, consi-

derando tanto as características específicas da rota quanto as particularidades do usuário (ou do grupo de usuários).

As mudanças realizadas em um ambiente, com o objetivo de torná-lo acessível, podem resultar em melhorias que beneficiam apenas um grupo específico de usuários. Por exemplo, a instalação de *totens* de identificação visual nos ambientes da UFMS-CG é útil para as pessoas videntes, mas não oferece benefícios significativos para as PcDV. Ademais, eventuais alterações podem tornar o ambiente acessível para um grupo de pessoas e, ao mesmo tempo, representar um risco para outras pessoas. Um exemplo é o rebaixamento da guia de calçada (meio-fio) para facilitar o acesso de pessoas que utilizam cadeira de rodas - se a modificação não for devidamente sinalizada e construída dentro dos padrões adequados, representará um perigo para as PcDV, que podem inadvertidamente acessar a pista de rolamento sem perceber (GOLLEDGE, 2004). Dessa forma, é crucial considerar cuidadosamente todas as potenciais consequências ao fazer modificações no ambiente, garantindo que não coloquem outras pessoas em perigo.

Além das modificações no ambiente, a disponibilidade de ambientes acessíveis pode ser alcançada por meio de outras duas alternativas (GOLLEDGE, 2004): (1) o acesso a informações sobre o ambiente durante a locomoção e a (2) criação de ambientes inteligentes. O primeiro é um recurso utilizado pelo homem ao longo do tempo, desde o uso de mapas cartográficos até orientações escritas ou verbais fornecidas por terceiros. A facilidade de acesso a aplicativos de navegação assistida e a presença de dispositivos GPS em *smartphones*, tornaram esses recursos valiosos para monitorar a posição em tempo real durante uma rota. O segundo representa o ápice dessa abordagem e destacam-se casos concretos de sua aplicação, como o acesso às informações sobre o horário previsto de chegada dos ônibus em cidades como Seul, Lisboa, Barcelona, Uberlândia e São Paulo (SILVEIRA, 2012), os parquímetros inteligentes para ajudar os motoristas a encontrar vagas de estacionamento e melhorar o trânsito na cidade de São Francisco (Califórnia) (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2018) e a implantação de pedágios inteligentes no estado de São Paulo, nos quais a cobrança é realizada com base na quilometragem percorrida (DE BLASI, 2022).

A escolha da melhor opção na tríade para a criação de ambientes acessíveis (modificação física do ambiente, acesso a informações sobre o ambiente e criação de ambientes inteligentes) depende da avaliação do contexto, considerando as necessidades das pessoas envolvidas e disponibilidade de recursos (técnicos e financeiros). Com base nesse contexto, a subseção 2.5.2 fornece uma revisão do conceito de *wayfinding* no contexto das PcDV.

2.5.2 Wayfinding e as pessoas com deficiência visual

As PcDV relutam em sair de casa quando precisam ir a locais desconhecidos e não existem informações disponíveis sobre o ambiente. A pesquisa de Marston (2002)

revelou que o acesso a informações sobre o ambiente motiva as pessoas a saírem de casa para realizar suas atividades diárias, mesmo quando se trata de lugares desconhecidos. [Parker et al. \(2021\)](#) destacam que as pessoas se sentem mais confiantes e independentes quando têm suporte para sua locomoção, o que aumenta a probabilidade de se lançarem em direção a ambientes desconhecidos. [Karimi et al. \(2014\)](#) complementam que a falta de informações sobre o ambiente coloca as PcDV em uma situação de risco, com maior probabilidade de sofrerem acidentes, e enfatizam que isso leva muitas delas a evitar sair de casa quando precisam ir a lugares desconhecidos.

As condições de saúde (modelo médico) e a funcionalidade/incapacidade associadas às condições de saúde (modelo social) são relevantes ao associarmos o *wayfinding* com as PcDV. Para uma pessoa com baixa visão, o contraste das cores dos elementos arquitetônicos é importante para identificá-los, enquanto para uma pessoa com cegueira o parâmetro é descartável. Ademais, uma pessoa com cegueira congênita tem funções cognitivas diferentes de uma pessoa que ficou cega na vida adulta. O estudo de [Bauer et al. \(2017\)](#) identificou que o cérebro de uma PcDV congênita se reconecta e faz novas conexões na ausência de informações visuais, aguçando a audição, olfato e tato.

Um sistema *wayfinding* para PcDV deve levar em consideração as diferenças de habilidades entre elas, reconhecendo que elementos visuais ainda podem ser relevantes (para a pessoa com baixa visão) e notar que elementos não visuais, como informações auditivas, olfativas e táteis, são ainda mais eficazes e abrangem um número maior de pessoas.

[Karimi et al. \(2014\)](#) destacam a importância de pontos de referência e sinais que sejam facilmente e eficazmente identificáveis por PcDV. Eles enfatizam que é essencial aproveitar elementos já existentes no ambiente. Isso está em consonância com a afirmação de [Golledge \(2004\)](#) de que os pontos de referência devem cumprir duas funções principais: ser proeminentes no ambiente e serem facilmente identificáveis, sem a necessidade de recursos específicos.

A revisão realizada por [Parker et al. \(2021\)](#) aponta que os pontos de referência preferenciais incluem elementos táteis, estruturas arquitetônicas, som, olfato e incidência de vento. [Abate e Kowaltowski \(2017\)](#) identificam elementos válidos em um sistema *wayfinding* para PcDV, com base em suas observações em uma escola de educação especial. Eles incluem estruturas arquitetônicas, topografia do terreno, incidência de vento, tipologia do piso, focos de ruído, odores, textura de paredes, corrimãos de escadas, sinalização com placas e sinalização em *braille* como itens que podem ser incorporados ao sistema.

Continuando com a mesma abordagem apresentada na subseção 2.5.1, que trata da possibilidade de criar ambientes acessíveis sem a necessidade de modificar fisicamente o ambiente, as TA podem ser desenvolvidas para capacitar um sistema de *wayfinding* a proporcionar novas condições para PcDV. Este cenário será explorado na subseção 2.5.3.

2.5.3 Wayfinding como tecnologia assistiva

As TA tradicionalmente utilizadas para auxiliar a locomoção de PcDV, como bengalas e cães-guia, se concentram na percepção do ambiente imediato. Elas não são adequadas para ajudar na descoberta de caminhos em rotas desconhecidas ou para fornecer orientação precisa sobre a localização da pessoa no ambiente (SLADE; TAMBE; KOCHENDERFER, 2021).

Um serviço que forneça recursos para orientação e mobilidade das PcDV deve oferecer suporte à (KARIMI *et al.*, 2014):

- Familiarização com o ambiente;
- Informação da sua localização;
- Planejamento de rotas;
- Comunicação por uma interface fácil e acessível.

Um candidato natural a oferta destes serviços são os recursos de auxílio eletrônico, que se projetados adequadamente podem auxiliar as pessoas na locomoção por ambientes desconhecidos, com informações que ajudem na construção de uma mapa mental sobre o ambiente.

O desenvolvimento de um recurso com as características necessárias, como apontado por Karimi *et al.* (2014), não é uma tarefa trivial. Esses recursos devem abranger uma ampla gama de pontos de referência e pistas que atendam às diversas particularidades das pessoas, levando em consideração fatores como o grau de deficiência visual e as preferências individuais de comunicação. Como citado por Rodriguez-Sanchez e Martinez-Romo (2017), a maioria dos aplicativos de navegação assistida não consegue atender pelo menos um dos seguintes requisitos essenciais: fornecer informações dinâmicas, seguir um *design* universal e oferecer uma interface adaptada às diferentes necessidades e preferências dos usuários.

É importante ressaltar que essas novas tecnologias não devem substituir os serviços primários de orientação e mobilidade oferecidos para a reabilitação das PcDV. Pelo contrário, elas devem desempenhar um papel complementar significativo, como destacado por Parker *et al.* (2021). Essas autoras identificaram pesquisas (KO; KIM, 2017; RODRIGUEZ-SANCHEZ; MARTINEZ-ROMO, 2017; BAI *et al.*, 2018; BALATA; MIKOVEC; SLAVIK, 2018; GIUDICE *et al.*, 2019) que apontam para uma maior taxa de sucesso na locomoção da PcDV quando as informações da rota são fornecidas em tempo real. Isso demonstra a importância de oferecer informações atualizadas e dinâmicas para auxiliar eficazmente na mobilidade dessas pessoas.

Apesar das críticas apresentadas por [Karimi et al. \(2014\)](#), em relação à falta de recursos efetivos e disponíveis para uso pelas PcDV, a pesquisa acadêmica desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de alternativas que visam ajudar esse grupo de pessoas. Os estudos conduzidos por [Ahmetovic et al. \(2016\)](#), [Ko e Kim \(2017\)](#) e [Ohn-Bar et al. \(2018\)](#) são exemplos de pesquisas cujos resultados têm um impacto direto no ambiente universitário e provocaram mudanças no contexto acadêmico, com a intenção de estimular o interesse de outros setores da sociedade.

[Parker et al. \(2021\)](#) destacam a necessidade e a importância de se realizar pesquisas centradas nos usuários, priorizando as experiências reais das PcD em vez de se concentrar exclusivamente em ambientes controlados ou no desenvolvimento de algoritmos para TA. Essa abordagem está alinhada com a proposição do modelo HAAT, que coloca a pessoa no centro do processo de desenvolvimento, priorizando suas necessidades e experiências em relação à tecnologia ([COOK; POLGAR, 2015](#)).

Considerando os recursos tecnológicos disponíveis, é factível não apenas automatizar as tarefas de orientação e mobilidade, mas também capitalizar os avanços da inteligência artificial. Isso permite o desenvolvimento de recursos inteligentes que se adaptam às condições do ambiente e às necessidades do usuário. Esses recursos têm a capacidade de criar novas condições que vão além das oferecidas pelas TA convencionais, aproveitando-se dos conhecimentos sobre o ambiente para fornecer informações dinâmicas e abrangentes das rotas, inclusive daquelas que o usuário desconhece.

2.5.4 Considerações sobre wayfinding

O conceito de *wayfinding* é universal e aplicável a todas as pessoas, da mesma forma que a necessidade de ambientes acessíveis e legíveis é uma premissa fundamental para todos.

As PcDV não podem se beneficiar dos sinais e pontos de referência visuais, a menos que esses elementos também tenham identificação em outras formas acessíveis. Além disso, sem informações sobre os ambientes, a orientação e mobilidade dessas pessoas são seriamente prejudicadas.

Um sistema de *wayfinding* pode ser desenvolvido utilizando recursos de assistência eletrônica para ajudar as PcDV. Isso inclui recursos que podem se adaptar dinamicamente às mudanças no ambiente e às necessidades da pessoa. A seção 2.6 abordará o conceito de TAI e as oportunidades que esse novo paradigma oferece para melhorar a vida das PcD.

2.6 Tecnologia assistiva inteligente

Dentre as várias definições atribuídas à inteligência, a tradição aristotélica a define como a capacidade de raciocínio que distingue os seres humanos dos outros animais

(RUSSO, 2008). É comum o uso do termo *inteligência humana*, o que sugere a existência de uma contradição e, por consequência, a existência de uma *inteligência não humana*. É verdade que o termo *inteligência* é aplicado em contextos que vão além da capacidade cognitiva dos seres humanos, sendo utilizado na avaliação da diversidade biológica entre os seres vivos e até mesmo como metáfora em referência ao mundo inorgânico (AFONSO, 2007).

Neste contexto, não pretende-se discutir as várias teorias sobre inteligência, mas sim explorar a sua aplicação no conceito de TAI. Para isso, baseia-se na teoria das inteligências múltiplas de Gardner (1995), que define a inteligência como um conceito que engloba aspectos biológicos, psicológicos e neurológicos, expandindo a definição tradicional da psicometria. Essa teoria reconhece a manifestação da inteligência em várias formas, como lógico-matemática, linguística, musical, espacial, corporal-cinestésica, intrapessoal e interpessoal.

Historicamente, os seres humanos têm empregado sua capacidade intelectual para alterar o ambiente em que vivem, desenvolvendo recursos que transformam a relação com o seu entorno. Essa evolução pode ser observada no aprimoramento das técnicas de produção, começando com a criação de ferramentas rudimentares, como pedras lascadas, e avançando através de marcos como a descoberta do fogo, a era do ferro e, finalmente, a revolução industrial.

A primeira revolução industrial, que ocorreu no século XVIII, foi marcada pela mecanização dos processos, inicialmente na indústria têxtil. A segunda revolução industrial, no século XIX, caracterizou-se pelo aumento da produção de aço, impulsionado pela eletrificação e o uso de petróleo, resultando na criação de novas máquinas e equipamentos. A terceira revolução industrial teve início após a Segunda Guerra Mundial, no século XX, com o advento da eletrônica, telecomunicações e computadores, levando à exploração espacial e à criação de máquinas autônomas, como os robôs. Em 2011, o governo alemão lançou o projeto *Plataforma Indústria 4.0*, que é considerado o marco da quarta revolução industrial. Esse projeto visa integrar o sistema de manufatura à cadeia de produção por meio da internet (SACOMANO; SÁTYRO, 2018).

Na abordagem da Indústria 4.0, sensores, máquinas e sistemas computacionais estão interconectados por meio dos protocolos da internet. Essa integração permite que esses sistemas sejam capazes de prever falhas, configurar-se e adaptar-se automaticamente às mudanças (RÜBMANN *et al.*, 2015). Nesse cenário, considera-se a existência de *coisas inteligentes*, ou seja, produtos e serviços personalizados que se adaptam às necessidades do usuário. A evolução das tecnologias computacionais ocorrida no advento da Indústria 4.0, permitiu a extensão da abordagem 4.0 para outros setores, com a aplicação das *coisas inteligentes* em áreas como educação, transporte e saúde, que incluem as TAI.

Antes de prosseguir com a revisão sobre as TAI, a subseção 2.6.1 retoma o conceito

de inteligência artificial, que é fundamental para o entendimento do contexto. A subseção 2.6.2 explora as potenciais aplicações da inteligência artificial nas TA, enquanto a subseção 2.6.3 apresenta pesquisas relevantes que abordaram as TAI.

2.6.1 Inteligência artificial

O desafio nas pesquisas em inteligência artificial, para além da compreensão do conceito de inteligência, reside na construção de entidades capazes de manifestar inteligência (RUSSELL; NORVIG, 2013). Essas pesquisas abrangem estudos e aplicações de conceitos matemáticos, probabilísticos e computacionais, que visam monitorar e aprender sobre o ambiente, possibilitando a tomada de decisões em resposta às condições apresentadas.

A definição de *inteligência artificial* na literatura é tão abrangente quanto a definição do termo *inteligência* em si. Sem desvalorizar ou subestimar a literatura, adota-se aqui a definição encontrada no Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa (MICHAELIS, 2022), que a descreve como o "projeto e desenvolvimento de programas de computador que simulam o pensamento humano, capaz de desenvolver um comportamento inteligente".

Para o contexto desta pesquisa, adota-se a definição de Russell e Norvig (2013), que descrevem a inteligência artificial como o estudo de agentes inteligentes que recebem percepções do ambiente e executam ações. Esses agentes fazem uso de diversas técnicas da inteligência artificial, dentre elas os algoritmos de busca, dos quais destacam-se a *busca informada* e a *busca não informada*. Na busca informada, utiliza-se informações adicionais (heurísticas) sobre os estados do problema para encontrar soluções de forma mais eficiente. Nesse caso, aplica-se uma função de avaliação que traduz a heurística em um valor numérico. Já na busca não informada, não há informações adicionais sobre os estados do problema, ou seja, nenhuma sugestão é fornecida para a solução, e cabe ao algoritmo encontrar a solução por conta própria (RUSSELL; NORVIG, 2013).

Independente da técnica, a inteligência artificial é aplicada em diversas áreas e em uma variedade de aplicações, incluindo jogos digitais, geração e tradução de textos, reconhecimento de sons e imagens, navegação autônoma, sistemas de recomendação e reconhecimento de padrões. É um campo com ampla aplicação e relevância em diversas áreas (RUSSELL; NORVIG, 2013).

Nesse contexto, surge a TAI. A principal diferença entre ela e a TA convencional é a capacidade computacional da primeira, que lhe permite detectar e atender às necessidades individuais das pessoas, adaptando-se às mudanças de situações e compensando as dificuldades enfrentadas (BHARUCHA *et al.*, 2009). A subseção 2.6.2 explora as oportunidades oferecidas pela TAI.

2.6.2 Novas possibilidades com a tecnologia assistiva inteligente

A clássica frase de Radabaugh (NATIONAL COUNCIL ON DISABILITY, 1993), que afirma que a tecnologia torna as coisas mais fáceis para as pessoas sem deficiência e possibilita as coisas para as PcD, ressalta a importância das TA. Essas tecnologias representam uma extensão da corporeidade e da própria existência das PcD, permitindo que realizem atividades essenciais (GARCÍA; GALVÃO FILHO, 2012). Nesta concepção, afirmar que as TA convencionais são limitadas pode parecer uma presunção, considerando a sua importância para as PcD. Assim, assume-se o pressuposto de que as TAI trazem novas possibilidades de apoio às PcD, que não são contempladas pelas TA tradicionais.

Doughty (2016) argumenta que a TA que faz uso de sistema eletrônico ou teletecnologia (serviços de apoio remoto) pode ser considerada uma TAI. Enquanto Ienca *et al.* (2017) definem a TAI como os recursos de auxílio às PcD que possuem capacidade computacional e de comunicação, permitindo a sensorização do ambiente e a maximização dos benefícios para os usuários. Na abordagem de Ienca *et al.* (2017), ressalta-se que a mera aplicação de componentes eletrônicos não é suficiente para tornar uma TA *inteligente*, ou seja, para atingir o estado de *inteligente* o recurso deve ser capaz de aprender com o ambiente e tomar decisões que proporcionem suporte ao usuário, indo além da simples instrumentação de processos.

Independentemente do debate conceitual, Doughty (2016) e Ienca *et al.* (2017) concordam que o avanço e a disseminação dos recursos eletrônicos e computacionais estão conduzindo à criação de uma nova agenda de apoio às PcD. Isso possibilita o desenvolvimento de recursos e serviços inteligentes que visam a redução das dificuldades e dos riscos de acidentes enfrentados por PcD. Exemplos de TAI incluem: dispositivos autônomos, como robôs para cuidados pessoais e dispositivos vestíveis; sistemas distribuídos, tais como casas inteligentes e sistemas de sensores integrados; e *softwares*, como aplicativos para uso em dispositivos móveis (*smartphone* ou *tablet*) ou baseados na *web* (IENCA *et al.*, 2017). A subseção 2.6.3 apresenta pesquisas que abordaram a temática das TAI.

2.6.3 Pesquisas que abordaram a tecnologia assistiva inteligente

Romic *et al.* (2018) desenvolveram uma solução para a detecção em tempo real de faixas de pedestres, destinada a PcDV. Utilizando técnicas de processamento de imagens e detecção de objetos, o algoritmo foi implementado para funcionar em dispositivos móveis, permitindo que os usuários utilizem a câmera de seus *smartphones* para capturar imagens.

A pesquisa de Guerrero *et al.* (2019) forneceu um sistema de auxílio ao gerenciamento de medicamentos para pessoas idosas, que utiliza tecnologia de realidade aumentada. O sistema integra elementos virtuais à visão do mundo real, por meio do uso do Kinect (um sensor de movimentos originalmente desenvolvido para consoles de jogos

eletrônicos) e opera reconhecendo gestos do usuário. Dentre as funcionalidades fornecidas estão a identificação dos rótulos dos medicamentos e a consulta de uma base de dados de medicamentos, utilizadas para recomendar a dose adequada do medicamento ao usuário.

Um dispositivo vestível, com o objetivo de identificar momentos significativos em pessoas com demência a partir de variações nos padrões dos sinais fisiológicos, foi apresentado por [Kwan *et al.* \(2019\)](#). O dispositivo foi testado em três pacientes, em colaboração com seus cuidadores, e os resultados revelaram-se satisfatórios na detecção de momentos significativos para os pacientes, que são importantes para orientar as ações dos cuidadores.

[Younis *et al.* \(2019\)](#) propuseram um sistema inteligente destinado a detectar potenciais riscos para pessoas com perda de visão periférica. O recurso é capaz de identificar e classificar possíveis riscos por meio do processamento de imagens, capturadas por um óculos especial utilizado pela pessoa.

Com o propósito de monitorar pessoas idosas em tempo real, [Muheidat e Tawalbeh \(2020\)](#) revelaram um tapete inteligente, que sensoriza o ambiente e identifica as atividades de caminhada e possíveis quedas da pessoa. O dispositivo é capaz de detectar a redução da atividade funcional da pessoa, o que pode indicar problemas em sua saúde.

2.6.4 Considerações sobre tecnologia assistiva inteligente

A [TAI](#) se baseia nos conceitos e valores da [TA](#) convencional, aproveitando os avanços tecnológicos na computação, eletrônica e inteligência artificial para ampliar suas capacidades. Porém, a mera aplicação desses recursos tecnológicos não garante que as [PcD](#) possam exercer sua autonomia, sendo necessário que estejam em sintonia com os cuidados de saúde e, principalmente, com o contexto das [PcD](#).

A seção [2.7](#) apresenta as características do Global Navigation Satellite System ([GNSS](#)), com ênfase no [GPS](#). Esta abordagem é voltada para a sua utilização como recurso em [TAI](#), especialmente em aplicações de navegação assistida.

2.7 Sistema global de navegação por satélite

O [GNSS](#) se refere a uma rede de sistemas que permite a determinação da posição de um receptor em qualquer lugar da Terra, abrangendo uma ampla variedade de aplicações, incluindo navegação, mapeamento e monitoramento. A subseção [2.7.1](#) apresenta as características do sistema de navegação por satélite mais popular, o [GPS](#). A subseção [2.7.2](#) explora a utilização dos [GPS](#) em aplicações de navegação assistida, enquanto a subseção [2.7.3](#) aborda as inovações possíveis a partir dos aplicativos de navegação assistida.

2.7.1 Sistema de posicionamento global

O GPS é o único sistema de navegação por satélite plenamente funcional, que oferece serviços de posicionamento, navegação e temporização. O sistema é composto por uma constelação de pelo menos 24 satélites (em julho de 2023, havia 25 satélites ativos), que emitem sinais de rádio contendo informações sobre sua localização, estado e horário. Um dispositivo GPS recebe e processa esses sinais de rádio, calculando sua distância em relação aos satélites. Quando o dispositivo GPS determina sua distância em relação a pelo menos quatro satélites, o sistema utiliza o processo de trilateração e calcula sua posição. A acurácia da posição varia em função do número de satélites disponíveis para a trilateração, das condições atmosféricas, da qualidade do dispositivo GPS e de obstruções físicas (U.S. SPACE FORCE, 2023).

De acordo com informações oficiais do governo dos Estados Unidos, proprietário do sistema GPS, *smartphones* equipados com dispositivo GPS apresentam uma acurácia média de 4,9 metros em ambientes ao ar livre e tendem a aumentar em ambientes próximos a edifícios e árvores (U.S. SPACE FORCE, 2023). A pesquisa realizada por Santana *et al.* (2019) avaliou quatro modelos de *smartphones* e constatou que o erro médio das coordenadas variou entre 2,2 e 4,95 metros.

2.7.2 O uso do GPS em aplicações de navegação assistida

A permissão do uso do GPS por civis trouxe uma ampla gama de possibilidades de aplicação em diversas áreas, como agricultura, segurança e transporte (U.S. SPACE FORCE, 2023). No contexto dos transportes, como alternativa aos mapas rodoviários impressos, surgiram as aplicações de navegação assistida. O objetivo principal dessas aplicações é facilitar o deslocamento do usuário, fornecendo orientações e informações detalhadas para que ele possa chegar ao destino de forma eficiente e ágil. Inicialmente, eram utilizados dispositivos específicos para essa finalidade, os quais foram substituídos pelos aplicativos de navegação assistida, com a popularização dos *smartphones* e a disponibilidade das redes móveis de acesso rápido à internet. Entre as características dos aplicativos de navegação assistida, destacam-se a interação em tempo real e a atualização constante (SOUZA, 2018).

Em sua maioria, os aplicativos de navegação assistida foram desenvolvidos para auxiliar na navegação de veículos, o que significa que não consideram elementos como calçadas, faixas de pedestres e outros recursos importantes para os pedestres (FRANÇOSO; MELLO, 2016), além de não oferecer rotas alternativas que evitem barreiras (KOBIE, 2019). Os pontos de referência usados para as coordenadas fornecidas aos usuários são, em sua maioria, baseados na pista de rolamento.

O Google Maps² é um dos aplicativos mais populares e oferece a possibilidade de traçar rotas para veículos automotores, bicicletas, transporte público e caminhadas (TEIXEIRA; PARAIZO, 2020). Há a promessa de inclusão de novos recursos ao aplicativo, os quais irão beneficiar os usuários que utilizam a ferramenta para locomoção a pé, fornecendo detalhes mais precisos sobre calçadas, faixas de pedestres e rotas acessíveis para pessoas que usam cadeira de rodas (LISBOA, 2021). No ano de 2019, o Google lançou um novo recurso de apoio à orientação por voz destinado a PcDV (SUGIYAMA, 2019). Entretanto, durante o período de realização desta pesquisa, o recurso não estava disponível nas versões do aplicativo acessíveis no Brasil.

Como alternativa ao Google Maps, existe o Lazarillo App³, que fornece orientações para a locomoção do usuário com informações adicionais sobre locais de interesse nas proximidades, como bancos, lojas e cafés, além de detalhes sobre cruzamentos de ruas e pontos de referência importantes. Ao contrário do Google Maps, ele foi desenvolvido especificamente como um recurso de apoio para PcDV. Apesar das características únicas do Lazarillo App, nenhum desses recursos oferece orientações sobre as melhores rotas para PcDV, nem fornece informações sobre barreiras ou elementos que promovam a acessibilidade.

2.7.3 Inovações com os aplicativos de navegação assistida

A combinação dos dados de localização do usuário com outras fontes de informação permite a personalização de serviços para atender às necessidades em andamento. Dentre as possibilidades de inovação, estão sistemas de sugestão de rotas seguras para pedestres, levando em consideração as condições de iluminação durante a noite (BAO *et al.*, 2017). Além disso, existe o planejamento de rotas que visa a redução da exposição do usuário à poluição do ar (ZOU *et al.*, 2020), a otimização de trajetos para o acesso a estações de ônibus, metrô ou trem, incentivando o uso dos meios de transporte público (SOEST; TIGHT; ROGERS, 2020). Também inclui a sugestão de rotas que fazem uso de dispositivos destinados aos pedestres, como faixas de travessia, passarelas e áreas exclusivas para pedestres (DOMÍNGUEZ; SANGUINO, 2021), permitindo a conexão com semáforos para garantir a travessia segura. No caso de pontos de travessia voltados para PcDV, torna-se essencial a sugestão de rotas que incluam semáforos sonoros.

Com base na premissa do conceito de *wayfinding* discutido anteriormente, Karimi (2015) explora a aplicação de ontologias nas atividades de orientação e navegação voltadas para PcD. Essas ontologias englobam elementos como locais, pontos de interesse, trajetos e orientações, fornecendo uma representação semântica das informações de navegação e possibilitando uma interação mais inteligente de sistemas computacionais. Essa aborda-

² Google Maps - Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-br/maps/about>

³ Lazarillo App - Disponível em: <https://lazarillo.app/>

gem pode envolver a criação de bancos de dados com informações sobre os ambientes, cujo objetivo é integrar-se aos serviços de orientação e navegação existentes e orientar a locomoção das [PcD](#).

2.7.4 Considerações sobre o sistema global de navegação por satélite

A combinação de dados de [GPS](#) com informações detalhadas sobre os ambientes desempenha um papel fundamental no apoio às [PcDV](#). Essa integração possibilita o desenvolvimento de soluções inovadoras, como aplicativos de navegação assistida, capacitando esses indivíduos a explorar ambientes com autonomia e segurança. Dado que esta pesquisa aborda o desenvolvimento de uma [TAI](#) na forma de um aplicativo, a seção [2.8](#) faz uma breve revisão dos conceitos que servem de base para o desenvolvimento de *software*.

2.8 Desenvolvimento de *software*

Um *software* é um produto único, formado por um ecossistema de recursos, que pode variar de um simples sistema incorporado em um eletrodoméstico à um sistema complexo de controle para uma multinacional.

As linguagens de programação representam um dos recursos fundamentais para o desenvolvimento de *software*. Existe uma variedade de opções à disposição, incluindo C, C++, C#, Java, Python e JavaScript. Cada linguagem possui características únicas que a tornam mais adequada para contextos específicos. Essas características podem incluir a portabilidade, que se refere à capacidade do *software* ser executado em diferentes arquiteturas de *hardware*, como dispositivos móveis ou computadores de mesa, bem como em diferentes ambientes de *software*, como Android e iOS, além da capacidade de integração com outras linguagens e ecossistemas.

A linguagem JavaScript surgiu em 1995 com o propósito de permitir a execução de *software* nos navegadores *web*, tornando as páginas *web* mais interativas e dinâmicas. Ao longo de seu desenvolvimento, a linguagem expandiu suas possibilidades de aplicação para além do navegador, como no exemplo do Node.js ([OPENJS FOUNDATION, 2022](#)) ([HAVERBEKE, 2018](#)). Uma das utilidades do Node.js é a capacidade de desenvolvimento multiplataforma, o que significa que pode-se criar aplicativos que funcionam em diversos sistemas operacionais, como Windows, Linux, Mac OS, Android e iOS.

Para alcançar essa capacidade, os aplicativos podem ser desenvolvidos utilizando uma estrutura conhecida como cliente/servidor. Nesse modelo, uma parte do *software* é executada no cliente, que pode ser um computador pessoal ou dispositivo móvel, enquanto a outra parte é executada em um servidor remoto. O servidor recebe, processa e responde às solicitações do cliente. Isso implica que o funcionamento do *software* depende da infraestrutura local do usuário, do computador remoto e de uma conexão entre os dois,

estabelecida pela internet. O Node.js é a parte responsável pela implementação do lado do servidor de um aplicativo móvel desenvolvido em JavaScript. Para a programação do lado do cliente pode-se utilizar o React Native ([FACEBOOK OPEN SOURCE, 2022](#)).

O React Native é uma biblioteca JavaScript desenvolvida pelo Facebook. Ela permite a criação de aplicativos nativos para os sistemas operacionais Android e iOS, possibilitando que esses aplicativos aproveitem todos os recursos nativos dos dispositivos móveis, como câmera, [GPS](#), bússola e lista de contatos ([FACEBOOK OPEN SOURCE, 2022](#)). Uma das vantagens do uso da biblioteca é a possibilidade de escrever um único código para o aplicativo, compatível com os sistemas operacionais Android e iOS.

Para incorporar funcionalidades adicionais ao *software*, aproveitando recursos disponibilizados por outros sistemas, é empregada uma Application Programming Interface ([API](#)). A [API](#) possibilita que o *software* utilize os serviços oferecidos por outro sistema. O Expo SDK é uma ferramenta que possibilita o acesso às [API](#) nativas dos dispositivos móveis, viabilizando a utilização de recursos como [GPS](#), câmera e sistemas de notificações ([EXPO, 2022](#)). Outro exemplo são as [API](#) fornecidas pelo Google, como a Google Cloud Platform ([GOOGLE, 2022a](#)), que oferece diversos serviços, incluindo as [API](#) para o Google Maps, Google Drive e YouTube.

A Plataforma Google Maps ([GOOGLE, 2022b](#)) oferece as [API](#) para os serviços de mapas (permite a personalização de mapas interativos, com informações em tempo real), rotas (transporte público, bicicleta, carro ou a pé) e locais (converte endereços em coordenadas geográficas ou vice-versa e ajuda o usuário a encontrar um lugar específico, fornecendo sugestões automáticas de locais e endereços conforme o usuário digita). Estes serviços do Google não são gratuitos, mas a plataforma disponibiliza um crédito mensal para seus usuários. Isso significa que a cobrança ocorre apenas se o crédito fornecido for excedido. Para aplicações menores e com poucos usuários, é possível utilizar o serviço apenas com o crédito mensal disponível.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

As pesquisas visando o desenvolvimento de TA de auxílio à mobilidade das PcDV estão associados com adaptações à bengala ou a substituição dela por dispositivos que realizam o monitoramento automático de barreiras. Estes dispositivos são classificados como Electronic Travel Aid (ETA), cujo propósito é coletar dados sobre o ambiente e notificá-los ao usuário. Adicionalmente, existem estudos que buscam auxiliar as PcDV na escolha de uma rota e/ou fornecer orientações para que elas se locomovam até um destino, utilizando dispositivos classificados como Electronic Orientation Aid (EOA).

Os trabalhos que abordam o desenvolvimento de ETA visam principalmente a criação de dispositivos que substituem o sentido da visão e auxiliam a pessoa na identificação de barreiras físicas. Uma abordagem é a adaptação da bengala utilizada pelas PcDV, como os estudos conduzidos por Kim, Harders e Gassert (2015) e Hersh e Ramírez (2018). Essas pesquisas incluíram a integração de sensores e atuadores à bengala, os quais monitoram o ambiente e fornecem *feedback* ao usuário por meio de estímulos sonoros e táteis.

A substituição da bengala por um dispositivo que realize o monitoramento automático do ambiente é encontrada em Bottega e Balbinot (2020), cuja proposta é a utilização de equipamentos vestíveis que monitoram o ambiente a partir de sensores ultrassônicos e infravermelho. Zhang *et al.* (2019) têm proposta similar, incluindo o processamento de imagens capturadas em tempo real. Kallara *et al.* (2017) propõem um dispositivo portátil que funciona em conjunto com um aplicativo executado no *smartphone* e substitui o uso da bengala.

Zhang *et al.* (2019) ainda trazem em sua abordagem a integração das funcionalidades de ETA e EOA, ou seja, o dispositivo além de monitorar barreiras físicas, também fornece informações sobre a direção que a pessoa deve seguir, da mesma maneira que identificado nas pesquisas de Elmannai e Elleithy (2018) e Kanna *et al.* (2021).

Elmannai e Elleithy (2018) apresentam detalhes de como o sistema detecta as barreiras (utilizando visão computacional), porém não fornecem características de como as rotas são definidas. As implementações realizadas por Kanna *et al.* (2021) incluem uma bengala e um aplicativo (executado no *smartphone* do usuário), que fornece as orientações das direções que o usuário deve seguir. As rotas são geradas pela API Graphhopper (serviço da Internet para adicionar planejamento, navegação e otimização de rotas) e o usuário é notificado a partir de vibrações quando aproxima-se de um ponto de mudança de direção.

Ainda no advento dos *smartphones*, Bousbia-Salah, Fezari e Hamdi (2005) propu-

seram um dispositivo portátil e autônomo que oferece um sistema de navegação às PcDV. O sistema fornece assistência sobre rotas de caminhada usando sons codificados para fornecer informações sobre a distância percorrida, localização atual e decisões a serem tomadas. As rotas percorridas são gravadas e posteriormente reutilizadas pelo usuário, numa tentativa de não fazer uso do GPS.

Ahmed, Mahmud e Yeasin (2019) apresentaram uma alternativa sem a necessidade de uso de um dispositivo específico para tal fim. Eles desenvolveram um sistema de navegação que explorava os dados dos sensores existentes nos *smartphones*, cujos dados eram coletados e processados com algoritmos de rede neural, a fim de identificar caminhos que possam ser percorridos pelo usuário. Contudo, a abordagem não faz uso dos dados do GPS, uma vez que considera que ele é menos confiável quando o interesse está em traçar rotas em ambientes internos.

Para ambientes externos, Sánchez e Sáenz (2008) propuseram um dispositivo que faz uso do GPS e trabalha em conjunto com um aplicativo executado em um computador auxiliar. A proposta da pesquisa foi desenvolver uma solução que forneça informações de direção e distância em relação ao ponto de interesse escolhido pelo usuário. O sistema não depende de um serviço de mapas, visto que a abordagem utilizada não é a de traçar automaticamente uma rota, mas de fornecer as orientações direcionais para auxiliar o usuário a escolher a direção a seguir.

A avaliação do uso de dispositivos com GPS foi realizada por Ponchillia *et al.* (2007). Os pesquisadores avaliaram as funcionalidades de um dispositivo com GPS para auxiliar a orientação e locomoção das PcDV por ambientes desconhecidos. Os resultados demonstraram que o uso do recurso foi útil em reduzir o tempo necessário para as pessoas se reorientarem nos ambientes após serem deliberadamente desorientadas, em facilitar a localização de destinos, em permitir o planejamento de viagens de forma independente e, conseqüentemente, reduzir a dependência da solicitação de informações a terceiros.

Na esfera da influência do GPS, Tachiquin *et al.* (2021) desenvolveram um sistema que combina um dispositivo vestível e um aplicativo executado no *smartphone* do usuário. O vestível é uma palmilha, que traz atuadores que combinam diferentes tipos de vibrações, para informar ao usuário as orientações do caminho a seguir. O aplicativo combina a localização obtida pelo GPS do *smartphone* e o OpenStreetMap para traçar as rotas. A estratégia utilizada no algoritmo que traça as rotas é encontrar o caminho mais curto entre a origem e o destino informado.

Em relação à estratégia para traçar a rota, Maeda, Miyaji e Miyakawa (2006) apresentaram um sistema que considerava as preferências do usuário e os itens existentes ao longo da rota (tais como a presença de calçamento, passarelas, pontos de referência, semáforos, locais públicos). O algoritmo consultava um banco de dados com informações sobre os ambientes e combinava com as preferências do usuário, buscando rotas que os

priorizassem.

Enquanto a abordagem de [Maeda, Miyaji e Miyakawa \(2006\)](#) está na metodologia proposta para traçar as rotas, a pesquisa de [Kammoun *et al.* \(2010\)](#) aplicou a metodologia em um protótipo, que além de selecionar as rotas combinando as preferências do usuário e as características dos ambientes (pontos de interesse, pontos de referência e zonas pedonais), incluiu um dispositivo vestível que coleta imagens dos ambientes, as quais são combinadas com os dados obtidos a partir do posicionamento [GPS](#).

[Șipoș, Ciuciu e Ivanciu \(2022\)](#) incluíram as mesmas funcionalidades em uma bengala que trabalha em conjunto com um dispositivo vestível. Esse dispositivo identifica barreiras físicas e fornece as orientações da rota mais curta até o destino. O sistema utiliza os dados obtidos do [GPS](#) e os combina com um banco de dados contendo informações sobre pontos de referência existentes no ambiente de navegação. Além disso, o usuário pode definir os pontos de referência de sua preferência.

No trabalho de [Somyat *et al.* \(2018\)](#), foi desenvolvido um aplicativo para *smartphone* que identifica barreiras físicas e fornece orientações sobre as direções a seguir. A câmera do *smartphone* é utilizada para capturar imagens dos ambientes, as quais são processadas com o objetivo de detectar obstáculos. Para obter orientações sobre as direções, o usuário informa um destino, e o sistema verifica se há uma rota para o destino salva em seu banco de dados. Se houver uma rota, utiliza-se o [GPS](#) e o acelerômetro do *smartphone* para fornecer as coordenadas. Se não houver uma rota armazenada, o aplicativo nega a solicitação, restringindo o uso aos ambientes já salvos no seu banco de dados.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos trabalhos, indicando para cada um deles se o recurso desenvolvido possui: custo adicional para a [PcDV](#), notificação de barreiras, orientações das direções e se considera as preferências do usuário quanto aos itens monitorados e características das rotas traçadas.

Tabela 2 – Características das pesquisas identificadas.

Pesquisa	Custo	Notifica barreiras	Fornece orientações	Preferências do usuário
Kim, Harders e Gassert (2015)	Sim	Sim	Não	Não
Kallara <i>et al.</i> (2017)	Sim	Sim	Não	Não
Hersh e Ramírez (2018)	Sim	Sim	Não	Não
Elmannai e Elleithy (2018)	Sim	Sim	Sim	Não
Zhang <i>et al.</i> (2019)	Sim	Sim	Sim*	Não
Bottega e Balbinot (2020)	Sim	Sim	Não	Não
Bousbia-Salah, Fezari e Hamdi (2005)	Sim	Não	Sim	Não
Sánchez e Sáenz (2008)	Sim	Não	Sim	Não
Kammoun <i>et al.</i> (2010)	Sim	Não	Sim	Sim
Kanna <i>et al.</i> (2021)	Sim	Não	Sim	Não
Tachiquin <i>et al.</i> (2021)	Sim	Não	Sim	Não
Şipoş, Ciuciu e Ivanciu (2022)	Sim	Sim	Sim	Sim
Maeda, Miyaji e Miyakawa (2006)	Não	Não	Sim	Sim
Somyat <i>et al.</i> (2018)	Não	Sim	Sim**	Sim
Ahmed, Mahmud e Yeasin (2019)	Não	Sim	Sim**	Não

* Apenas para ambientes internos

** Apenas para rotas salvas anteriormente

Na abordagem dos trabalhos que focaram na detecção de barreiras, observa-se a tentativa de substituição da bengala. Embora as pesquisas tenham avançado em termos de inovação, elas não introduziram novas funcionalidades que tragam melhorias significativas no dia a dia das PcDV, a ponto de justificar o investimento em novos dispositivos. Desta maneira, uma possibilidade é explorar a identificação das barreiras, integrando-as ao processo de definição da rota para chegar a um destino, de maneira que a rota desvie dessa barreira.

Ademais, há a possibilidade de explorar a identificação de elementos do ambiente que promovam a acessibilidade da PcDV e melhorem as condições de mobilidade, como identificado por Fusco, Shen e Coughlan (2014) e Huang, Wu e Liu (2022), que desenvolveram recursos que auxiliam a PcDV na identificação da intersecção das ruas e na travessia em semáforos. Assim, é possível prever as rotas para um destino, de modo que se avalie a presença de barreiras e/ou itens de promoção da acessibilidade, de acordo com as preferências da pessoa.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Desenvolver uma **TAI** (aplicativo) que faz uso de algoritmos de busca informada e *wayfinding* para auxiliar **PcDV** na locomoção e identificação dos ambientes presentes na **UFMS-CG**.

4.2 Objetivos específicos

- Identificar as características das **PcDV** na locomoção pelos ambientes da **UFMS-CG**;
- Analisar as características identificadas e utilizá-las como requisitos para o desenvolvimento da **TAI**;
- Desenvolver um algoritmo que calcule o custo de diferentes rotas, com base em dados semânticos do ambiente e preferências do usuário;
- Construir um algoritmo que busque rotas com menor custo para **PcDV**;
- Avaliar o desempenho do algoritmo na otimização das rotas;
- Desenvolver uma **TAI** que incorpore o algoritmo e forneça orientações para a locomoção das **PcDV**;
- Avaliar o desempenho da **TAI** na orientação das **PcDV**;
- Avaliar a **TAI** nos ambientes da universidade, com a participação de **PcDV**.

5 METODOLOGIA

5.1 Descrição da pesquisa: tipo, local, período e amostra selecionada

Trata-se de uma pesquisa de natureza quali-quantitativa, descritiva e avaliativa, baseada em dados primários obtidos por meio de um estudo de caso com observações e pesquisa de laboratório (bancada). As atividades ocorreram na [UFMS-CG](#) e em colaboração com o Laboratório de Engenharia Biomédica e Tecnologia Assistiva da [UFMS](#), durante o período de 2021 a 2023.

Dez voluntários participaram das atividades e foram selecionados por meio de amostragem não probabilística por cota e julgamento. O critério de inclusão abrangeu pessoas com cegueira, com acuidade visual abaixo de 0,05 ou campo visual menor do que 10 graus, bem como aquelas com baixa visão, cuja acuidade visual variava entre 6/60 e 18/60 (em escala métrica) e/ou possuíam um campo visual entre 20° e 50°. Adicionalmente, as pessoas deveriam ser atendidas pela Associação dos Deficientes Visuais de Mato Grosso do Sul ([ADVIMS](#)) ou pelo Instituto Sul Mato Grossense para Cegos Florivaldo Vargas ([ISMAC](#)). Os critérios de exclusão foram as pessoas com outros tipos de deficiência, menores de 18 anos e aquelas que já estavam familiarizadas com as dependências da [UFMS-CG](#). Dois participantes foram incluídos por já conhecerem as dependências da [UFMS-CG](#).

5.2 Etapas da pesquisa

O estudo foi estruturado em quatro etapas (Figura 1), que abrangeram: (1) preparação e planejamento das atividades; (2) visita à [UFMS-CG](#) para coletar informações sobre os requisitos da [TAI](#); (3) o desenvolvimento propriamente dito da [TAI](#); (4) a avaliação da [TAI](#) junto às [PcDV](#); e estão detalhadas a seguir.

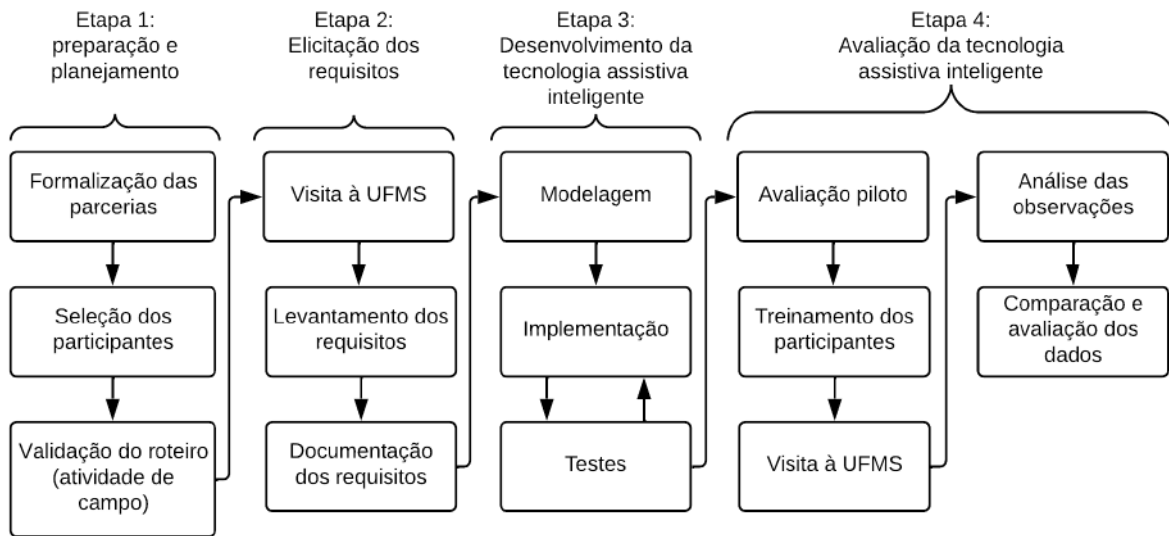


Figura 1 – Fluxograma com as etapas da execução da pesquisa. Descrição da figura: Um diagrama que ilustra as etapas da pesquisa. Cada etapa é representada por uma chave, cada tarefa é representada por um retângulo, e a sequência das tarefas é indicada por linhas com setas.

5.2.1 Etapa 1: preparação e planejamento

Na primeira etapa, estabeleceram-se as parcerias com instituições que atendem **PcDV** na cidade de Campo Grande/MS, delinearum-se as características da atividade de campo e realizou-se a seleção dos voluntários.

As instituições parceiras, **ADVIMS** e **ISMALC**, foram responsáveis por convidar os voluntários que participaram da pesquisa.

A atividade de campo consistia na visita dos voluntários a **UFMS-CG**. O objetivo era identificar e acessar determinados ambientes da universidade durante essa visita. O roteiro, que descreve as características desta atividade (conforme apresentado no Apêndice **A**), foi previamente validado com um dos participantes, que já conhecia a **UFMS-CG**. O roteiro incluía a execução de rotas de acesso a diferentes ambientes, todas com origem e destino na **UFMS-CG**.

A validação abrangeu o processo em que o voluntário percorreu as rotas descritas no roteiro, enquanto o pesquisador registrava as dificuldades encontradas pelo participante, os recursos utilizados por ele, e identificava possíveis elementos que promoviam ou dificultavam a acessibilidade ao longo das rotas. Ademais, avaliou-se a presença de eventuais barreiras que pudessem representar riscos de acidentes para os participantes. Um profissional de educação física com experiência em atividades de orientação e mobilidade para **PcDV** acompanhou a atividade.

5.2.2 Etapa 2: elicitação dos requisitos

A segunda etapa incluiu a visita de outros voluntários à [UFMS-CG](#), o levantamento e a criação do documento de requisitos, além do mapeamento dos itens de acessibilidade identificados nas rotas previamente executadas.

Os itens de acessibilidade são quaisquer elementos presentes no ambiente que afetam a acessibilidade das [PcDV](#), sendo a promoção qualquer elemento que melhore a acessibilidade e a barreira qualquer elemento que prejudique a acessibilidade.

5.2.2.1 Visita à UFMS

Três voluntários visitaram a [UFMS-CG](#) individualmente, com o objetivo de localizar e acessar quatro ambientes distintos (Biblioteca Central, Faculdade de Computação, Faculdade de Medicina e Restaurante Universitário). Eles tinham a liberdade de utilizar qualquer tipo de recurso, incluindo [TA](#), *smartphone* ou contar com a assistência de outras pessoas.

Dois pesquisadores, um cientista da computação e um profissional de educação física com experiência em atividades de orientação e mobilidade, acompanharam os participantes, sem realizar intervenções e registraram suas observações e relatos voluntários fornecidos pelos participantes.

Os itens que pautaram as observações foram:

- Os recursos adotados pelos participantes;
- A assistência prestada por terceiros, seja de forma voluntária ou a pedido;
- As dificuldades enfrentadas pelos participantes;
- As barreiras à acessibilidade existentes nas instalações da [UFMS-CG](#);
- Os recursos de apoio à acessibilidade disponíveis nas instalações da [UFMS-CG](#);
- Quaisquer incidentes não planejados que impactaram a atividade.

5.2.2.2 Levantamento e documentação dos requisitos

A técnica de observação, baseada na abordagem etnográfica, foi empregada para identificar os requisitos, fundamentada no modelo [HAAT](#) ([COOK](#); [HUSSEY](#), 1995).

Para extrair os requisitos, empregou-se a análise de conteúdo ([BARDIN](#), 2016), a partir da transcrição das observações registradas durante as visitas à [UFMS-CG](#). As etapas utilizadas na análise dos registros foram as seguintes: leitura geral das transcrições; codificação para formulação de categorias de análise; recorte do material em unidades de

registro comparáveis e com conteúdo semântico semelhante; estabelecimento de categorias distintas nas unidades de registro; agrupamento das unidades de registro em categorias comuns; inferência e interpretação.

Os requisitos foram apresentados e validados durante uma reunião organizada pela **ADVIMS**, na qual seis **PcDV** participaram. Para documentar os requisitos, adotou-se o modelo de especificação de requisitos desenvolvido por Karl Wieggers (**WIEGERS, 2018**).

A Figura 2 ilustra o fluxograma do processo de coleta e tratamento dos dados.

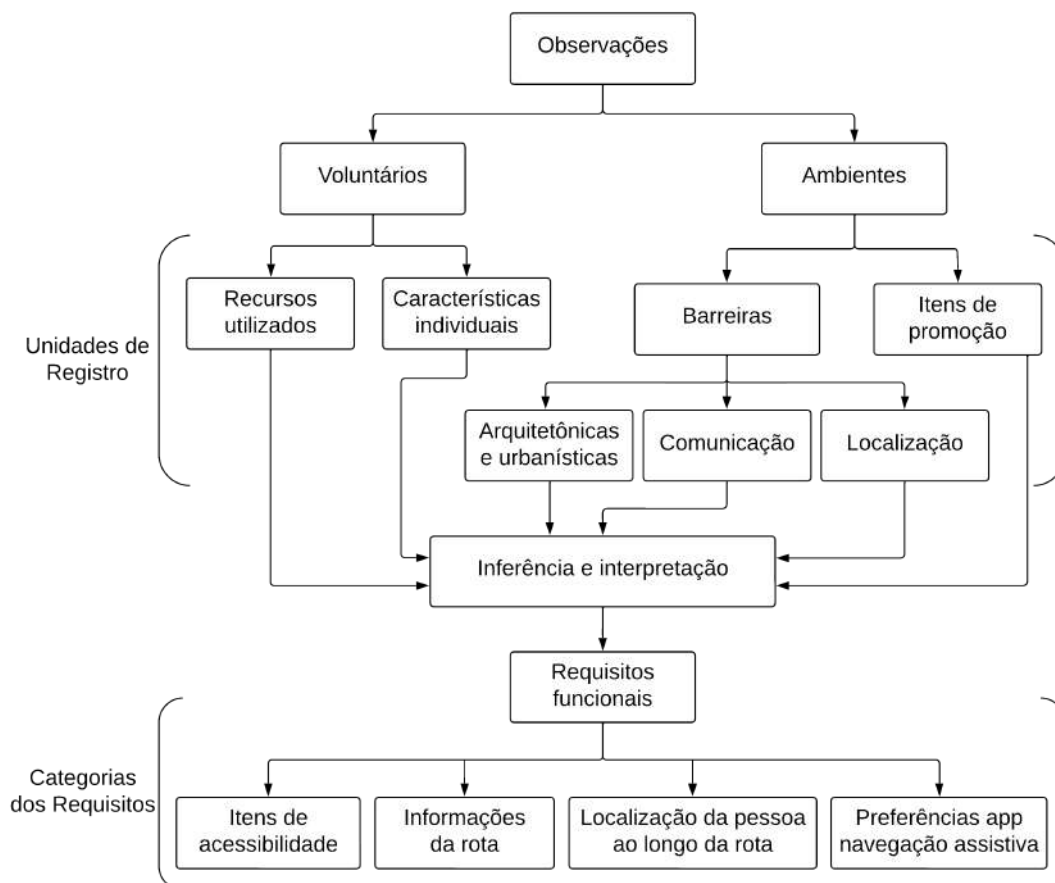


Figura 2 – Fluxograma do processo de coleta e tratamento dos dados. Descrição da figura: O diagrama apresenta uma sequência de itens, cada um representado por um retângulo, e a conexão entre eles representada por linhas com setas. O processo começa com a coleta de observações, que abrange as características dos voluntários e dos ambientes visitados. As anotações resultantes são então agrupadas em unidades de registro, que incluem recursos utilizados, características individuais dos voluntários, barreiras e itens de promoção presentes nos ambientes. A inferência e interpretação desses registros culminam na lista de requisitos, organizada em quatro categorias: itens de acessibilidade, informações da rota, localização da pessoa ao longo da rota e preferências para os aplicativos de navegação assistiva.

5.2.2.3 Mapeamento dos itens de acessibilidade identificados na UFMS

Os itens de acessibilidade identificados na UFMS-CG, durante a atividade com os voluntários, foram registrados e posteriormente validados. Para cada item identificado, coletaram-se informações como o tipo, as coordenadas geográficas (latitude e longitude) e os ambientes próximos à região onde foram encontrados.

As coordenadas geográficas foram coletadas utilizando três *smartphones*: Redmi 9T, Moto G5 e Moto G7 (as configurações detalhadas dos dispositivos estão disponíveis na Tabela 3). Esses dispositivos estavam equipados com o aplicativo GPS Essentials, que exibia informações sobre a constelação de satélites identificados e a acurácia das coordenadas obtidas. Além disso, o aplicativo permitia exportar os dados das coordenadas para uso posterior. As coletas foram realizadas sempre que a acurácia da coordenada, apresentada no aplicativo, fosse menor que 5 metros.

Tabela 3 – Descrição dos smartphones utilizados nas atividades da pesquisa.

Modelo	Fabricante	Sistema Operacional	Versão
Redmi 9T	Xiaomi	Android	10
Moto G5	Motorola	Android	7
Moto G7	Motorola	Android	10
iPhone 7	Apple	iOS	15.7.6

Para cada item, calculou-se o valor médio das coordenadas obtidas, que foram inseridas em um mapa. Em seguida, a posição de cada item foi avaliada visualmente com base na imagem de satélite fornecida pelo Google Maps. Quando um item era visualmente identificável na imagem, sua posição era ajustada manualmente para garantir sua acurácia. Por fim, os dados foram inseridos em um banco de dados.

5.2.3 Etapa 3: desenvolvimento da tecnologia assistiva inteligente

A terceira etapa consistiu no desenvolvimento da TAI, um aplicativo para uso no *smartphone*, que incluiu as tarefas de modelagem, implementação/codificação e testes do sistema.

Os requisitos documentados foram utilizados como entrada para o processo de modelagem. Além disso, foram considerados os sete princípios do *design* universal (CONNELL *et al.*, 1997) e as diretrizes WCAG (W3C, 2022a) para garantir a acessibilidade e a facilidade de uso do *software*.

Os modelos e documentos gerados incluem o diagrama de casos de uso, a descrição dos casos de uso e o diagrama de atividades. Os recursos utilizados na implementação/codificação incluíram a linguagem de programação JavaScript, o *software* Node.js, a biblioteca React Native, a ferramenta Expo SDK, o sistema gerenciador de banco de da-

dos MySQL e os serviços do Google (Maps SDK, Directions API, Places API e Geocoding API).

Para o desenvolvimento das funcionalidades que caracterizam a *inteligência* da TA, os algoritmos de busca informada (RUSSELL; NORVIG, 2013) foram utilizados como referência na construção de um algoritmo próprio.

A implementação do aplicativo foi dividida em três módulos: (1) *traçar rotas*; (2) *custo da rota*; (3) *executar rota*. Essa separação em módulos foi uma estratégia utilizada para dividir as etapas de desenvolvimento, permitindo projetar, modelar, implementar e testar individualmente cada parte do sistema. A divisão não trouxe qualquer tipo de impacto ao usuário, visto que a versão final do aplicativo consistiu na integração dos módulos.

Em todos os módulos, foram realizados os seguintes testes:

- **Testes de unidade:** para avaliar o funcionamento de cada função implementada, sendo conduzidos de forma contínua e paralela à etapa de codificação;
- **Testes de integração:** para avaliar como os módulos se integraram. Esses testes ocorreram ao final da implementação de cada módulo e visaram garantir que as diferentes partes do sistema funcionassem de maneira coesa quando combinadas;
- **Testes de aceitação:** para avaliar os módulos em relação aos requisitos definidos. Essa etapa de teste visava garantir que o aplicativo atendesse às especificações estabelecidas e que estivesse em conformidade com as necessidades dos usuários.

No módulo *custo da rota*, também avaliou-se a capacidade do algoritmo em otimizar as rotas, traçar as melhores rotas na UFMS-CG e identificar os itens de acessibilidade. No módulo *executar rota*, avaliou-se o uso do aplicativo durante a execução das rotas. Por fim, realizou-se a avaliação das interfaces e funcionalidades de todos os módulos.

As metodologias das avaliações estão descritas a seguir.

5.2.3.1 Avaliação da capacidade do algoritmo em otimizar as rotas

O algoritmo foi avaliado quanto à taxa de melhoria das rotas, à relação entre a otimização das rotas e o número de itens de acessibilidade e à relação entre a otimização das rotas e as localidades avaliadas.

Os testes foram realizados utilizando o *smartphone* Redmi 9T, sem a participação de voluntários. Foram realizadas 1600 simulações, considerando a combinação de três variáveis: localização, rota e número de itens de acessibilidade. A localização envolveu cinco cidades (Campo Grande, Dourados, Naviraí, Nova Andradina e Três Lagoas, todas

5.2.3.2 Avaliação da capacidade do algoritmo em traçar as rotas na UFMS

Para analisar o desempenho do algoritmo, foram traçadas as rotas de interesse utilizando os itens de acessibilidade mapeados na UFMS-CG. A Tabela 4 apresenta a origem e o destino de cada rota avaliada, enquanto a Figura 6 ilustra os ambientes visitados e as rotas entre eles.

Tabela 4 – Relação das rotas avaliadas na UFMS-CG.

	Origem	Destino
1	Biblioteca Central	Faculdade de Computação
2	Biblioteca Central	Faculdade de Medicina
3	Biblioteca Central	Restaurante Universitário
4	Faculdade de Computação	Biblioteca Central
5	Faculdade de Computação	Faculdade de Medicina
6	Faculdade de Computação	Restaurante Universitário
7	Faculdade de Medicina	Biblioteca Central
8	Faculdade de Medicina	Faculdade de Computação
9	Faculdade de Medicina	Restaurante Universitário
10	Restaurante Universitário	Biblioteca Central
11	Restaurante Universitário	Faculdade de Computação
12	Restaurante Universitário	Faculdade de Medicina

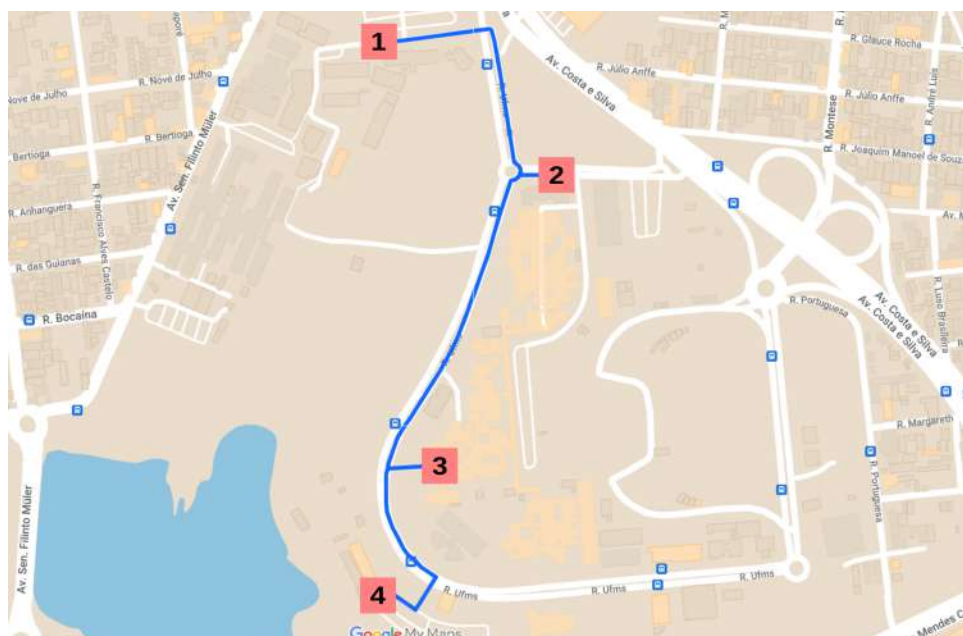


Figura 6 – Mapa com a rota traçada entre os ambientes avaliados na UFMS-CG. Descrição da figura: Mapa estilo atlas gerado pelo Google Maps. Nele, há um recorte da área da UFMS-CG. Uma linha na cor azul representa as rotas percorridas, e cada símbolo numerado (quadrado vermelho) representa um ambiente visitado.

Em cada rota, foi avaliado se ela proporcionava o melhor caminho (com menor custo) e se era diferente da rota originalmente gerada pelo Google Maps. Os testes fo-

ram realizados utilizando o *smartphone* Redmi 9T e não envolveram a participação de voluntários.

5.2.3.3 Avaliação da capacidade do algoritmo em identificar os itens de acessibilidade

Em cada rota, foram verificados os itens de acessibilidade identificados pelo algoritmo e comparados com os itens efetivamente mapeados na UFMS-CG. Os testes foram realizados usando o *smartphone* Redmi 9T, sem a participação de voluntários.

5.2.3.4 Avaliação da diferença entre a distância notificada pelo aplicativo e a distância real na identificação dos itens de acessibilidade

Os testes foram conduzidos com o objetivo de estimar a precisão e acurácia do algoritmo na identificação dos itens de acessibilidade presentes ao longo das rotas.

Quatro locais foram previamente georreferenciados utilizando a mesma metodologia empregada no mapeamento dos itens de acessibilidade na UFMS-CG (conforme descrito na subseção 5.2.2.3). Em cada um dos locais, uma linha de 15 metros de comprimento foi desenhada, com marcações a cada 1 metro. Em seguida, uma rota foi traçada, passando por esses locais, e executada com o uso do aplicativo.

As distâncias informadas pelo aplicativo ao aproximar-se do local e as distâncias observadas ao longo da linha traçada (na posição em que o usuário estava ao receber a notificação) foram registradas. O aplicativo foi configurado para emitir notificações a cada 1 segundo, a partir de um raio de 15 metros em relação ao ponto georreferenciado. A Figura 7 ilustra o cenário de teste.

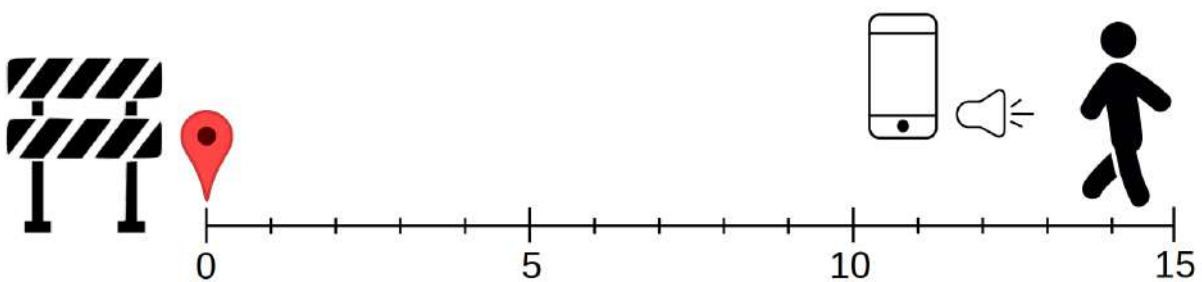


Figura 7 – Cenário de teste para avaliar a diferença entre a distância notificada e a distância real para os itens de acessibilidade. Descrição da figura: O usuário recebe alertas sonoros referentes à sua proximidade em relação ao local georreferenciado. Esses alertas são emitidos a cada 1 segundo, a partir de um raio de 15 metros em relação ao ponto georreferenciado.

O processo foi repetido cinco vezes em cada um dos locais, utilizando três *smartphones* diferentes (Redmi 9T, Moto G5 e Moto G7). Não houve envolvimento de voluntários.

As distâncias informadas pelo aplicativo e as distâncias observadas ao longo da linha traçada foram comparadas utilizando o teste Wilcoxon.

A comparação dos locais avaliados e dos *smartphones* utilizados, no que se refere ao erro médio na identificação dos itens de acessibilidade, foi realizada por meio do teste Kruskal-Wallis, com a aplicação do pós-teste de Dunn.

A análise dos dados foi conduzida utilizando o programa estatístico InStat, versão 2.0, com um nível de significância de 5%.

5.2.3.5 Avaliação da execução das rotas geradas

O aplicativo foi testado em quatro *smartphones* (Redmi 9T, Moto G5, Moto G7 e iPhone 7) para executar seis rotas. Cada rota foi percorrida seis vezes em cada *smartphone*, totalizando 144 execuções. Em cada execução, foi observado se ocorreu algum registro em relação à identificação dos itens de acessibilidade. Não houve participação de voluntários.

A análise da associação entre as ocorrências registradas e os *smartphones* utilizados foi realizada por meio do teste qui-quadrado, com a aplicação do pós-teste exato de Fisher, com correção de Bonferroni ($p < 0,05$). A análise dos dados foi conduzida no programa estatístico InStat, versão 2.0, considerando um nível de significância de 5%.

5.2.3.6 Avaliação das orientações fornecidas para a execução das rotas geradas

Em complemento à avaliação da execução das rotas, foram analisadas as coordenadas fornecidas ao usuário para a execução das mesmas. Os testes avaliaram as informações fornecidas sobre as direções e as localizações nas quais o usuário deveria mudar a direção da caminhada.

As 12 rotas de interesse na [UFMS-CG](#) (conforme já apresentado na Tabela 4) foram submetidas a uma análise em dois *smartphones* (Redmi 9T e iPhone 7), e sem a participação de voluntários.

Após os testes, as orientações fornecidas pelo aplicativo, que baseavam-se em referências visuais, foram adaptadas para se adequarem ao ambiente e às particularidades das [PcDV](#).

5.2.4 Etapa 4: avaliação da tecnologia assistiva inteligente

Na quarta e última etapa, o aplicativo passou por uma avaliação realizada por [PcDV](#), a qual incluiu a avaliação das interfaces e funcionalidades do aplicativo, além de novas visitas à [UFMS-CG](#), conforme detalhado nas subseções [5.2.4.1](#) e [5.2.4.2](#).

5.2.4.1 Avaliação das interfaces e funcionalidades com voluntários

Com a versão preliminar do aplicativo disponível, ele foi avaliado por um grupo de três voluntários: uma pessoa com cegueira, uma pessoa com baixa visão e um profissional

com experiência em atividades de orientação e mobilidade, todos os quais já haviam participado da etapa 2 da pesquisa.

O participante com cegueira e o participante vidente utilizaram seus *smartphones* pessoais, ambos com um aparelho iPhone 13, rodando o sistema operacional iOS versão 16.3. O participante com cegueira utilizou o leitor de tela VoiceOver. O participante com baixa visão avaliou o aplicativo em dois dispositivos: Redmi 9T e iPhone 7.

Foi fornecido um *link* para o *download* do arquivo de instalação do aplicativo. Após a instalação, as funcionalidades do aplicativo foram apresentadas e à medida que cada função era detalhada, os participantes a acessavam em seus *smartphones*. Em relação às opções de configuração, foi sugerido que eles realizassem alterações diretamente no aplicativo.

Para a função principal de traçar e executar as rotas, sugeriu-se que os voluntários escolhessem um destino dentro da universidade e o inserissem no aplicativo. Após a seleção do destino, a opção para iniciar a rota foi acionada. Durante a execução da rota, os voluntários seguiram as orientações fornecidas pelo aplicativo, e ao longo do percurso, foram incentivados a interagir com as funcionalidades disponíveis.

Além disso, avaliou-se a acessibilidade do aplicativo, verificando se todos os elementos disponíveis nas telas estavam acessíveis. Para orientar essa avaliação, foram analisados os seguintes critérios das diretrizes da [WCAG \(W3C, 2022a\)](#):

1. **Conteúdo não textual:** Qualquer conteúdo meramente decorativo deve ser ignorado pelos leitores de tela.
2. **Informações e relações:** Deve haver uma alternativa textual para informações e estruturas que seja identificável pelos leitores de tela.
3. **Rótulos ou instruções:** Quando o conteúdo exigir a entrada de dados por parte do usuário, é importante fornecer rótulos ou instruções claras.
4. **Nome, função e valor:** Para todos os componentes da interface do usuário, como textos, botões e caixas de edição, é essencial fornecer: o nome e a função do elemento, o estado, a propriedade ou o valor definido e notificar sobre alterações nesses itens, tornando-os identificáveis pelos leitores de tela.

O participante com baixa visão também analisou o contraste das telas, garantindo que todos os elementos da tela fossem adequadamente identificados.

As ocorrências registradas foram analisadas para determinar se eram ajustes necessários dentro das funcionalidades previstas para o aplicativo ou se representavam novas funcionalidades. No caso das ocorrências que se enquadravam nas funcionalidades iniciais, realizou-se os devidos ajustes e testes para garantir o funcionamento adequado.

Após os testes, foi publicada uma versão *beta* do aplicativo nas lojas de aplicativos Google Play Store, para dispositivos Android, e App Store, para dispositivos iOS.

5.2.4.2 Visita à UFMS

Seis voluntários visitaram a [UFMS-CG](#) individualmente, com o objetivo de localizar e acessar quatro ambientes (Biblioteca Central, Faculdade de Computação, Faculdade de Medicina e Restaurante Universitário). Um desses voluntários já estava familiarizado com as dependências da universidade. Todos os voluntários tinham a liberdade de utilizar qualquer tipo de recurso, inclusive [TA](#), ou contar com a assistência de terceiros, porém, era obrigatório que utilizassem o aplicativo desenvolvido.

Cada participante foi guiado até a [UFMS-CG](#) e a atividade iniciada na região da Concha Acústica. Durante essa etapa, realizou-se a instalação do aplicativo no dispositivo do participante e apresentaram-se as funcionalidades disponíveis, que foram simultaneamente acessadas no *smartphone* pelo participante.

Vencida a apresentação, o participante foi convidado a executar uma rota piloto com o propósito de utilizar as funcionalidades em uma rota real. O destino foi a Faculdade de Computação, tendo como origem a região da Concha Acústica. Após traçar a rota, ele a iniciou e seguiu as orientações do aplicativo. Durante a caminhada, detalhou-se as funcionalidades e as informações disponíveis, a fim de apresentar em contexto as possibilidades de uso do aplicativo.

Eventuais dúvidas do participante foram esclarecidas, e quaisquer problemas encontrados durante a rota foram discutidos com o participante. Quando não havia mais dúvidas e o participante se sentia seguro, as rotas de avaliação eram então iniciadas. Foram realizadas duas rotas de avaliação:

1. **Origem:** Faculdade de Computação - **Destino:** Biblioteca Central
2. **Origem:** Biblioteca Central - **Destino:** Faculdade de Medicina

Os participantes foram acompanhados pelo pesquisador, um cientista da computação que já havia participado das etapas anteriores da pesquisa. Não houve intervenção, a menos que surgissem situações que pudessem colocar o participante em risco. Foram registradas as observações e os relatos voluntários dos participantes. Os seguintes itens foram observados:

- Os recursos utilizados pelos participantes.
- A assistência prestada por terceiros, voluntariamente ou a pedido.
- As dificuldades enfrentadas pelos participantes, tanto com o ambiente quanto com o aplicativo.
- Os problemas registrados no aplicativo.
- As funcionalidades do aplicativo que ajudaram os voluntários durante a execução da rota.
- As barreiras à acessibilidade presentes nas instalações da [UFMS-CG](#).
- Os recursos de apoio à acessibilidade disponíveis nas instalações da [UFMS-CG](#).
- Quaisquer incidentes não planejados que impactaram a atividade.

5.2.4.3 Análise das observações

Os dados observados foram transcritos e avaliados usando a análise de conteúdo ([BARDIN, 2016](#)). As anotações resultantes das observações foram organizadas de acordo com as características das participações dos voluntários, as características dos ambientes visitados e as ocorrências relacionadas ao uso do aplicativo. Em seguida, as anotações foram agrupadas em unidades de registro, e a inferência e interpretação dos registros resultaram na apresentação dos resultados. A [Figura 8](#) ilustra o fluxograma do processo de coleta e tratamento dos dados na etapa de avaliação do aplicativo.

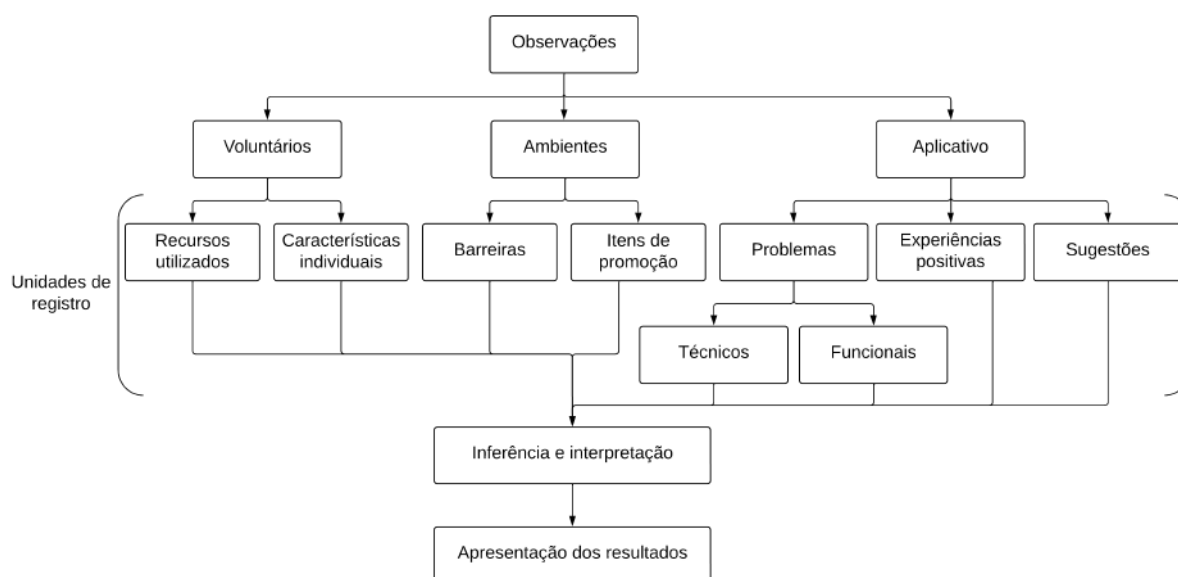


Figura 8 – Fluxograma do processo de coleta e tratamento dos dados na etapa de avaliação do aplicativo. Descrição da figura: O diagrama apresenta uma sequência de itens, cada um representado por um retângulo, e a conexão entre esses itens é mostrada por linhas com setas. O processo começa com a coleta de observações, que abrange as características dos voluntários, subdivididos em recursos utilizados e características individuais; características dos ambientes, subdividida em barreiras e itens de promoção; e aplicativo, subdividido em problemas, experiências positivas e sugestões. A inferência e interpretação desses registros culminam na apresentação dos resultados.

5.3 Aspectos éticos

O projeto recebeu aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFMS (parecer nº 4.700.332 - 17/05/2021). A coleta de dados somente foi iniciada após a aprovação do projeto.

Os voluntários foram previamente informados sobre a pesquisa, seus objetivos, a metodologia empregada, a ausência de potenciais riscos, os benefícios esperados, o motivo de sua seleção como participantes e a necessidade de ler e assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice B). Todas as atividades envolvendo os participantes somente foram conduzidas após a obtenção de sua concordância e a assinatura do termo.

No contexto da pandemia de Covid-19, os participantes receberam orientações sobre as medidas estabelecidas no Plano de Biossegurança da UFMS.

Os voluntários não receberam qualquer forma de compensação financeira e não incorreram em despesas relacionadas à participação. Foi providenciado suporte para o deslocamento dos participantes até a universidade, e ao término das atividades foi oferecido um lanche seco.

6 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados organizados em quatro seções. A Seção 6.1 aborda os resultados da etapa 1 da pesquisa, que consistiu na validação do roteiro da atividade de campo. A Seção 6.2 traz os resultados obtidos durante o trabalho de campo (etapa 2), destacando os requisitos identificados para o processo de desenvolvimento do *software*. A Seção 6.3 descreve os resultados decorrentes do processo de desenvolvimento do *software* (etapa 3). Por fim, a Seção 6.4 apresenta os resultados da etapa 4 da pesquisa, na qual a TAI foi avaliada com a participação de PcDV.

6.1 Etapa 1: validação do roteiro

O principal resultado desta etapa foi a validação do roteiro para a atividade de campo. Para uma melhor contextualização e interpretação, os resultados foram divididos em duas subseções: a subseção 6.1.1 descreve a participação do voluntário na atividade de campo, enquanto a subseção 6.1.2 aborda os resultados da validação do roteiro.

6.1.1 Relato da experiência com o participante

O participante tinha um conhecimento parcial da UFMS-CG e utilizou uma bengala para auxiliar na locomoção, sendo que ocasionalmente foi utilizado o piso tátil.

Em uma das rotas, ele solicitou ajuda a terceiros que estavam na UFMS-CG e de acordo com seu relato, apesar do conhecimento prévio do ambiente, foi preciso confirmar a rota a seguir.

Em um dos destinos a porta do prédio fechada e o participante mencionou que já estava familiarizado com o local e sabia de uma entrada alternativa. Esse conhecimento prévio foi fundamental para alcançar o objetivo, uma vez que sem ele, o participante poderia ter interpretado erroneamente que o prédio estava fechado (inacessível) e ter desistido da tentativa de entrar.

Os elementos utilizados como referência para a localização do participante foram: uma placa de trânsito, que serviu como ponto de referência para acessar a faixa de pedestres, e uma escada localizada ao lado de uma rampa, que indicava o ponto de acesso a um local específico.

As principais dificuldades incluíram a identificação dos pontos de entrada para os locais, o que exigiu a assistência de terceiros, e a presença de barreiras que bloqueavam a calçada e obrigaram o participante a desviar para a pista de rolamento.

6.1.2 Validação do roteiro

No que diz respeito às variáveis planejadas para observação, como as dificuldades encontradas, os recursos utilizados pelo participante, e os potenciais itens de promoção (como placas e sinalização no piso tátil) ou barreiras à acessibilidade (como buracos e objetos não sinalizados), foi destacada a importância de registrar as peculiaridades do comportamento de cada participante. Isso ocorreu em função das diferentes experiências em orientação e mobilidade de cada um, bem como das ocorrências não previstas que surgiram durante a execução das rotas.

As contribuições do voluntário e do profissional com experiência em orientação e mobilidade foram essenciais para assegurar uma avaliação completa e imparcial, sem viés. A troca de informações entre o pesquisador e o profissional, sem interferir na execução da atividade pelo participante, complementou de forma significativa o registro das observações, fornecendo *insights* valiosos com base nas particularidades destacadas pelo profissional.

Não foram identificados riscos à participação dos voluntários, exceto pela presença de barreiras nas calçadas, que eram previamente detectadas com a bengala. Além disso, foi observado que não era necessário executar todas as rotas conforme o roteiro proposto, e que o início da atividade poderia ocorrer em qualquer ambiente da UFMS-CG. Isso se deve ao fato de que a ordem das rotas não influenciava a qualidade das observações realizadas.

6.2 Etapa 2: elicitación dos requisitos

Os resultados da etapa 2 estão organizados em três subseções. A subseção 6.2.1 descreve a atividade de campo, relatando as visitas realizadas com os voluntários na UFMS-CG. A subseção 6.2.2 detalha os requisitos obtidos, e a subseção 6.2.3 apresenta os itens de acessibilidade identificados ao longo das rotas percorridas na UFMS-CG.

6.2.1 Visita à UFMS: atividade de campo

Apesar do roteiro que delineou a atividade de campo, as experiências foram distintas com cada um dos participantes, haja vista que cada pessoa possui uma realidade e experiência única em orientação e mobilidade, bem como um nível distinto de segurança ao caminhar sozinha. É importante ressaltar que todos eles percorreram apenas partes das rotas sugeridas, o que se mostrou apropriado para obter uma riqueza de detalhes nas rotas efetivamente percorridas.

Identificaram-se particularidades específicas em relação a cada um dos participantes: um deles perdeu a visão na vida adulta e mostrou-se dependente do piso tátil para se locomover com autonomia; outro possuía baixa visão, com capacidade de perceber vultos

e ler a tela do *smartphone*; e outro demonstrava uma boa experiência em orientação e mobilidade, conforme observado pelo especialista na área.

Os registros das atividades de campo foram organizados em três categorias: recursos utilizados, barreiras identificadas e itens de referência, englobando os elementos observados. As subseções a seguir detalham as particularidades de cada uma das categorias, enquanto a Tabela 5 apresenta um resumo das características identificadas com cada um dos participantes, incluindo o participante que validou o roteiro na etapa 1.

Tabela 5 – Características específicas dos participantes na atividade de campo: particularidades, recursos utilizados, itens de referência utilizados e barreiras enfrentadas.

	Participante A (validação)	Participante B	Participante C	Participante D
Particularidades	Conhecia o ambiente	Não conhecia o ambiente; Boa experiência em orientação e mobilidade	Não conhecia o ambiente; Baixa visão e consegue ler a tela do <i>smartphone</i> ; <i>Smartphone</i> permanecia no bolso, seguindo orientações sonoras e ocasionalmente era usado para visualizar a tela	Não conhecia o ambiente; Ficou cego na vida adulta; Dependência do piso tátil para locomoção com autonomia
Recursos Utilizados	Bengala; Auxílio de terceiros	Bengala; Auxílio de terceiros	Bengala; Auxílio de terceiros; <i>Smartphone</i> : aplicativo Google Maps	Bengala; Auxílio de terceiros; <i>Smartphone</i> : aplicativo Lazarillo App

Continua na próxima página

Tabela 5 – *Continuação*

	Participante A (validação)	Participante B	Participante C	Participante D
Itens de Referência	Memória da rota já percorrida; Diferença entre um ambiente externo e um ambiente interno: percepção do vento e do reflexo do som (eco); Placa de trânsito como referência para identificação do ponto de travessia; Rampa e escada como referência da entrada para um local	Faixa de pedestre elevada como referência para identificação do ponto de travessia; Som dos carros é mais intenso próximo a rotatória; Som de água, pássaros e árvores balançando varia conforme se afasta	Melhor entendimento das orientações de terceiros quando utiliza-se o piso tátil como referência; Aplicativo reorganiza a rota quando um caminho incorreto é seguido; Aumento do tempo até o destino como indicativo de rota errada	Piso tátil; Ponto de ônibus; Som de água, pássaros e árvores balançando varia conforme se afasta

Continua na próxima página

Tabela 5 – Continuação

	Participante A (validação)	Participante B	Participante C	Participante D
Barreiras	<p>Obra: obstrução da calçada e do piso tátil; Identificação da entrada dos locais; Entrada interdita; Objetos não sinalizados ao longo da rota; Veículos estacionados em área inapropriada</p>	<p>Orientações dúbias; Orientações desconectadas com a realidade da PcDV; Excesso de informações nas orientações; Rota sem piso tátil; Desnível na calçada não sinalizado; Dificuldade de identificação dos pontos de alerta no piso tátil</p>	<p>Orientações dúbias; Orientações desconectadas com a realidade da PcDV; Orientação utilizando pontos cardeais; Dificuldade de identificação da entrada dos locais; Rota sem piso tátil; Rota indicada pelo aplicativo sem acessibilidade: ausência de calçamento e piso tátil; Rota indicada pelo aplicativo bloqueada, mais longa ou com mais barreiras</p>	<p>Obra: obstrução da calçada e do piso tátil (isolamento feito com uma fita - elemento visual); Orientações desconectadas com a realidade da PcDV; Orientação utilizando pontos cardeais; Diferentes orientações para uma mesma rota; Dificuldade de identificação da entrada dos locais; Dificuldade de identificação dos pontos de alerta no piso tátil; Piso tátil sem identificação de pontos de alerta; Rota sem piso tátil; Não sabe se chegou ao destino</p>

6.2.1.1 Recursos utilizados

Todos os participantes utilizaram a bengala, se guiaram pelo piso tátil na calçada e solicitaram informações sobre a localização e rota a terceiros. Na ocasião, o fluxo de pessoas na universidade estava reduzido devido à pandemia da Covid-19.

Destaque para o participante que demonstrou uma excelente experiência em orientação e mobilidade, sendo capaz de executar com autonomia as rotas, inclusive em estruturas complexas, como rotatórias e calçadas sem piso tátil.

Por último, registrou-se o uso de aplicativos de navegação assistida, que fornecem orientações de localização e sugestões de rotas por meio de *smartphones*. Um dos participantes utilizou o Google Maps, enquanto o outro optou pelo Lazarillo App. Ambos guiaram-se pelas orientações sonoras emitidas pelos aplicativos. Não foram observadas dificuldades no uso dos aplicativos, uma vez que eles já possuíam conhecimento prévio e experiência em seu uso.

6.2.1.2 Barreiras identificadas

As barreiras não se limitam apenas a itens físicos ou estruturais que dificultaram a realização da atividade pelos participantes. Dessa forma, elas foram classificadas em três categorias: barreiras estruturais, barreiras na comunicação e barreiras para a localização.

No que diz respeito às barreiras estruturais, uma calçada estava bloqueada devido à presença de resíduos de construção. A área estava sinalizada com uma fita de demarcação, um recurso visual, que não foi identificado com o uso da bengala. O voluntário notou o bloqueio apenas quando tocou nos resíduos depositados na calçada, utilizando a bengala. Ainda foram registradas a presença de mesas, cadeiras e lixeiras sobre a calçada, ocupando áreas destinadas à circulação de pedestres, e sem a devida sinalização.

A condição do piso tátil também foi identificada como uma barreira, ocorrendo em situações em que o piso tátil apresentava falhas, como desgaste ou quebras, ou quando simplesmente não estava presente. Nessas condições, um dos participantes acabou se desorientando e passou a caminhar pela pista de rolamento, enquanto outro se desequilibrou devido a um desnível não sinalizado na calçada.

Ainda em relação ao piso tátil, foi observada uma dificuldade na identificação das áreas de alerta, que servem para sinalizar mudanças de direção ou interseções. Os participantes relataram que raramente utilizam essas marcações, dependendo principalmente do piso tátil direcional para se orientarem. Foi notado que, ao trocar a passada, por vezes o pé não entra em contato com as áreas de alerta. A Figura 9 ilustra o piso tátil de alerta e o piso tátil direcional.

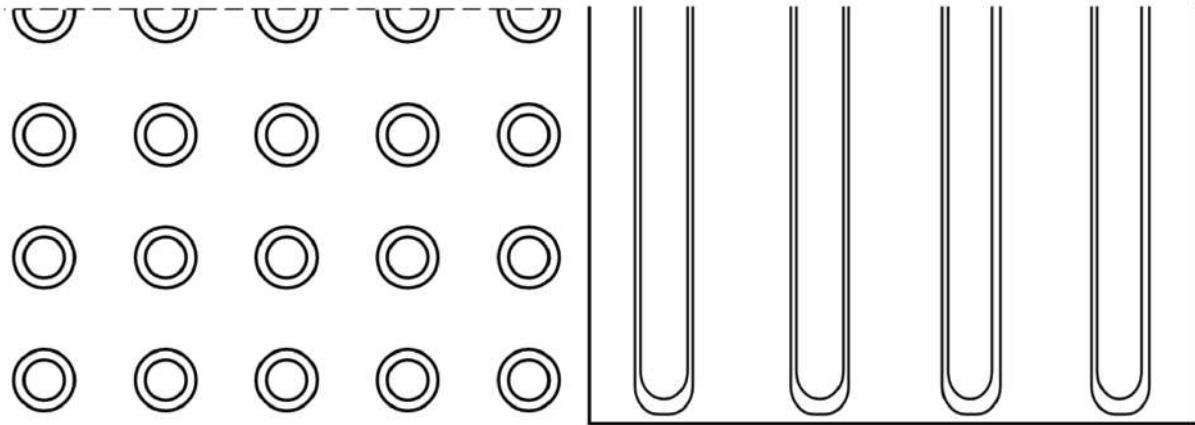


Figura 9 – Comparação do piso tátil de alerta e o piso tátil direcional. Adaptado de [ABNT \(2016\)](#). Descrição da figura: A esquerda, o piso tátil de alerta é composto por uma matriz (tamanho 4x5) de relevos circulares. À direita, o piso tátil direcional é formado por um conjunto de quatro relevos lineares.

Nas ocasiões em que os aplicativos de navegação assistida foram utilizados, algumas das rotas sugeridas continham trechos sem a presença de calçamento e apresentavam mais barreiras quando comparadas às rotas alternativas.

Quanto às barreiras na comunicação, observou-se a dificuldade na interpretação das orientações recebidas de terceiros. Por vezes, as orientações estavam desconectadas da condição da [PcDV](#), principalmente quando se baseavam em referências visuais, como no caso da orientação *siga reto na rotatória*. Para *seguir reto* é necessário um ponto de referência visual, algo não acessível à [PcDV](#), exceto se o piso tátil está presente. Entretanto, as pessoas que forneceram as orientações não tinham essa percepção, o que gerou dificuldades na comunicação e na compreensão das instruções.

Destaca-se a problemática relacionada ao fornecimento e interpretação de orientações em estruturas arquitetônicas mais complexas, como o exemplo de uma rotatória. Um participante, que demonstrou conhecer a estrutura deste item, teve menos dificuldades na execução da rota que passava por ela, em comparação aos demais participantes.

Adicionalmente, identificaram-se orientações dúbias, como *caminhe por uns 50 metros e vire e o destino está atrás deste prédio*. Esse tipo de orientação requer uma noção precisa de distância e localização, tanto por parte da pessoa que fornece a orientação quanto por parte da pessoa que a recebe. Isso pode resultar em instruções imprecisas e com margem para erro, uma vez que a estimativa de distância e localização pode variar significativamente entre as pessoas.

O excesso de detalhes nas orientações também se mostrou um problema, assim como a diferença entre as orientações fornecidas por duas pessoas para uma mesma rota. Cada pessoa utilizou um elemento diferente como referência para a orientação, o que dificultou a interpretação pelo participante.

No uso dos aplicativos de navegação assistida, foram identificadas dificuldades na comunicação relacionadas às orientações baseadas nos pontos cardeais ou em referências visuais, como nos exemplos *siga na direção oeste e pegue a primeira saída*.

Quanto à barreira para localização, foi observada dificuldade na identificação dos pontos de entrada dos locais de interesse, bem como na determinação da localização atual do participante durante a execução da rota, a fim de saber se a rota estava sendo seguida corretamente. Com frequência, os participantes relatavam não ter certeza se estavam no caminho correto ou se já haviam alcançado o destino desejado.

6.2.1.3 Itens de referência

O piso tátil foi o recurso de TA mais encontrado na UFMS-CG, e observou-se que os participantes se sentiam mais confiantes quando as orientações consideravam esse item como referência.

Os elementos que se mostraram promissores como pontos de referência foram as faixas elevadas para travessia de pedestres, os pontos de ônibus e as placas de sinalização, todos identificados com o auxílio da bengala. A participante com baixa visão identificou a presença de *totens* de sinalização, embora não conseguisse ler o conteúdo deles.

No que diz respeito aos pontos de ônibus, os participantes identificaram outro recurso para identificá-los: a diferença na sensação do vento e o reflexo do som (eco), devido ao fato de esses pontos serem semifechados.

O som também serviu como referência para avaliar a ausência de fluxo de carros no momento da travessia das ruas e na identificação de uma rotatória, já que a intensidade do som dos carros aumentava à medida que se aproximavam dela.

Em uma área que margeia um córrego, os participantes enfatizaram a presença do som de água corrente, o canto de pássaros e o ruído das árvores balançando. Um participante reforçou que a intensidade do som da água corrente aumentava à medida que se aproximavam do local.

Quando da utilização dos aplicativos de navegação assistida, as principais referências foram o acompanhamento das orientações fornecidas pelo aplicativo, a atualização do tempo/distância previsto até o destino e as notificações de reorganização da rota, especialmente quando o usuário desviava da rota original.

Finalmente, observou-se que os participantes enfrentaram mais dificuldades no caminho de ida aos destinos, em comparação com o caminho de volta, quando ambos seguiam a mesma rota.

6.2.2 Requisitos

Os requisitos foram organizados em quatro categorias:

1. Itens de acessibilidade;
2. Informações da rota;
3. Localização da pessoa ao longo da rota;
4. Preferências para os aplicativos de navegação assistiva.

A tabela 6 apresenta os requisitos e funcionalidades da categoria *itens de acessibilidade*, que se referem às características observadas na relação das PcDV com os itens de acessibilidade.

Tabela 6 – Requisitos e funcionalidades da categoria itens de acessibilidade.

Requisito	Funcionalidade
Um item de acessibilidade é qualquer elemento que influencie, de forma positiva ou negativa, a locomoção de uma PcDV A PcDV identifica elementos físicos da estrutura arquitetônica e urbanística, bem como o tipo de material da composição deles (madeira, concreto ou metal), por meio do toque com a bengala	O sistema identifica os itens de acessibilidade presentes ao longo da rota
Um item de acessibilidade não necessariamente é um elemento da estrutura arquitetônica e urbanística do ambiente Há elementos multissensoriais nos ambientes que servem como referência para a PcDV	O sistema notifica o usuário se o item de acessibilidade é uma barreira ou um item de promoção
Um item de acessibilidade pode ser permanente (fixo no ambiente) ou temporário (provisoriamente presente no ambiente) Em ambientes já conhecidos, as barreiras temporárias são as maiores dificuldades enfrentadas Há locais em que a presença de barreiras temporárias é recorrente	O sistema fornece informações complementares sobre o item de acessibilidade, incluindo seu tipo e sua temporalidade
Cada item de acessibilidade possui relevância diferente para cada PcDV A interação da PcDV com os itens de acessibilidade varia de acordo com sua acuidade visual e sua experiência em orientação	O usuário tem a opção de escolher os tipos de itens de acessibilidade de sua preferência

A tabela 7 apresenta os requisitos e funcionalidades da categoria *informações da rota*, que se referem às características para a pessoa identificar a rota para chegar a um destino.

Tabela 7 – Requisitos e funcionalidades da categoria informações da rota.

Requisito	Funcionalidade
Em um ambiente desconhecido, a PcDV não sabe qual rota seguir para chegar a um destino	O sistema traça uma rota até o destino desejado
	A rota traçada considera a locomoção <i>a pé</i> , ou seja, para pedestres
	A origem da rota é obtida a partir do GPS do <i>smartphone</i> , que determina a localização atual do usuário
	O sistema apresenta ao usuário o endereço da origem, bem como a acurácia da localização obtida
	Para traçar a rota, o usuário informa o endereço ou o nome do destino
Em um ambiente desconhecido, a PcDV não possui as coordenadas necessárias para chegar a um destino	O sistema informa periodicamente e de forma pontual a direção que o usuário deve seguir
	O sistema notifica o usuário caso ele saia da rota originalmente traçada
A PcDV tem preferência por rotas com maior acessibilidade	Sugere-se o uso de uma função para calcular o custo da rota, levando em consideração a distância, a duração e os itens de acessibilidade
	O usuário define o peso que a distância, a duração e os itens de acessibilidade têm na formação do custo da rota
	Se houver barreiras identificadas na rota, o sistema verifica a possibilidade de fazer desvios no trajeto para contornar essas barreiras
Algumas PcDV preferem receber as orientações e informações da rota antes de executá-la	O sistema apresenta um resumo dos itens de acessibilidade encontrados ao longo da rota
As informações sobre a distância e a duração prevista para chegar a um destino são relevantes para a PcDV	A distância e a duração previstas para chegar ao destino são apresentadas e atualizadas à medida que o usuário se locomove
A PcDV tem dificuldade em interpretar orientações que utilizam os pontos cardeais	O usuário consulta sua posição em relação ao sol para identificar sua orientação em relação aos pontos cardeais

A tabela 8 apresenta os requisitos e funcionalidades da categoria *localização da pessoa ao longo da rota*, que se referem às características para a pessoa identificar sua localização ao longo de uma rota.

Tabela 8 – Requisitos e funcionalidades da categoria localização da pessoa ao longo da rota.

Requisito	Funcionalidade
A informação sobre a localização da PcDV ao longo da rota é importante para que ela possa avaliar se está no trajeto correto	O usuário solicita informações sobre sua localização atual
Os itens de acessibilidade são pontos de referência ao longo da rota, e a PcDV pode confirmar sua localização com base neles	O sistema apresenta as informações sobre o item de acessibilidade mais próximo ao usuário, que serve como ponto de referência
	O usuário pode consultar informações sobre o ponto de referência mais próximo a qualquer momento
A PcDV não sabe qual é a sua distância em relação a um item de acessibilidade	Conforme o usuário se aproxima de um item de acessibilidade, o sistema emite notificações com informações sobre o item
	Ao passar por um item, o usuário recebe uma notificação
	O usuário solicita a repetição da última notificação emitida
Para confirmar a chegada a um destino, a PcDV precisa identificar algum item de referência no ambiente	Ao se aproximar do último item de acessibilidade da rota, o sistema notifica o usuário, fornecendo informações sobre a distância prevista até o destino
Os pontos de entrada/saída dos ambientes devem ser demarcados, preferencialmente, com alguma referência visual ou tátil para auxiliar a PcDV	Se houver um item de referência no destino, o sistema informa o usuário sobre sua chegada ao destino

A tabela 9 apresenta os requisitos e funcionalidades da categoria *preferências para os aplicativos de navegação assistiva*, que se referem às preferências das PcDV na utilização dos aplicativos de navegação assistiva. Esta categoria foi adicionada após a apresentação e avaliação dos requisitos junto a um grupo de voluntários.

Tabela 9 – Requisitos e funcionalidades da categoria preferências para os aplicativos de navegação assistiva.

Requisito	Funcionalidade
Há PcDV que não conseguem utilizar fone de ouvido enquanto se locomovem	O usuário define os tipos de notificações que serão emitidas pelo sistema, como vibração, som por bipe, som por voz ou na tela
Cada PcDV tem uma preferência pelo tipo de notificação emitida pelo <i>smartphone</i>	
Cada PcDV tem uma preferência pela frequência das notificações, incluindo o intervalo de tempo e a distância em que são emitidas	O usuário define a distância em relação a um item para que as notificações sobre ele sejam iniciadas
Cada PcDV tem uma preferência pelo tipo de informação emitida sobre os itens de acessibilidade	O usuário define o intervalo de tempo ou distância para que uma notificação seja repetida
	O usuário configura o tipo de informação sobre os itens de acessibilidade que será emitido, incluindo o tipo do item, a distância até o usuário, ambientes localizados na região e informações complementares
	O usuário solicita informações específicas do item durante a execução da rota, como o tipo do item, a distância até o usuário, ambientes localizados na região e informações complementares

Adicionalmente, foram identificados os requisitos não funcionais:

- O aplicativo deve ser compatível com os sistemas operacionais iOS e Android;
- O aplicativo deve ser compatível com os leitores de tela dos *smartphones*;
- Uma taxa de erro de até 3 metros para a identificação da distância até um item de acessibilidade é considerada excelente;
- Uma taxa de erro acima de 10 metros para a identificação da distância até um item de acessibilidade é considerada inaceitável;
- As orientações fornecidas pelo aplicativo devem ser breves e objetivas.

6.2.3 Itens de acessibilidade identificados na UFMS

Os itens identificados foram divididos em duas classes: itens de barreira e itens de promoção, totalizando 72 registros. Destes, 15 são itens de barreira, enquanto 57 pertencem à categoria de itens de promoção. Eles foram divididos em 12 tipos, que estão descritos e quantificados na Tabela 10.

Tabela 10 – Itens de acessibilidade identificados nas rotas executadas na UFMS-CG, com descrição do tipo e quantidade (junho/2023).

Classe	Tipo	Quantidade
Itens de barreira	Ausência de piso tátil	12
	Buraco	2
	Objeto não sinalizado	1
Itens de promoção	Escada	2
	Faixa de pedestre elevada	5
	Lixeira	4
	Piso de alerta (piso tátil)	16
	Placa	12
	Ponto de ônibus	3
	Portão	1
	Som de queda d'água	1
Totem vertical	13	

A Figura 10 apresenta o mapa da UFMS-CG, onde os marcadores representam cada um dos itens identificados. Ao longo do período da pesquisa ocorreram várias mudanças na estrutura da UFMS-CG e a figura reflete o cenário identificado em junho de 2023.

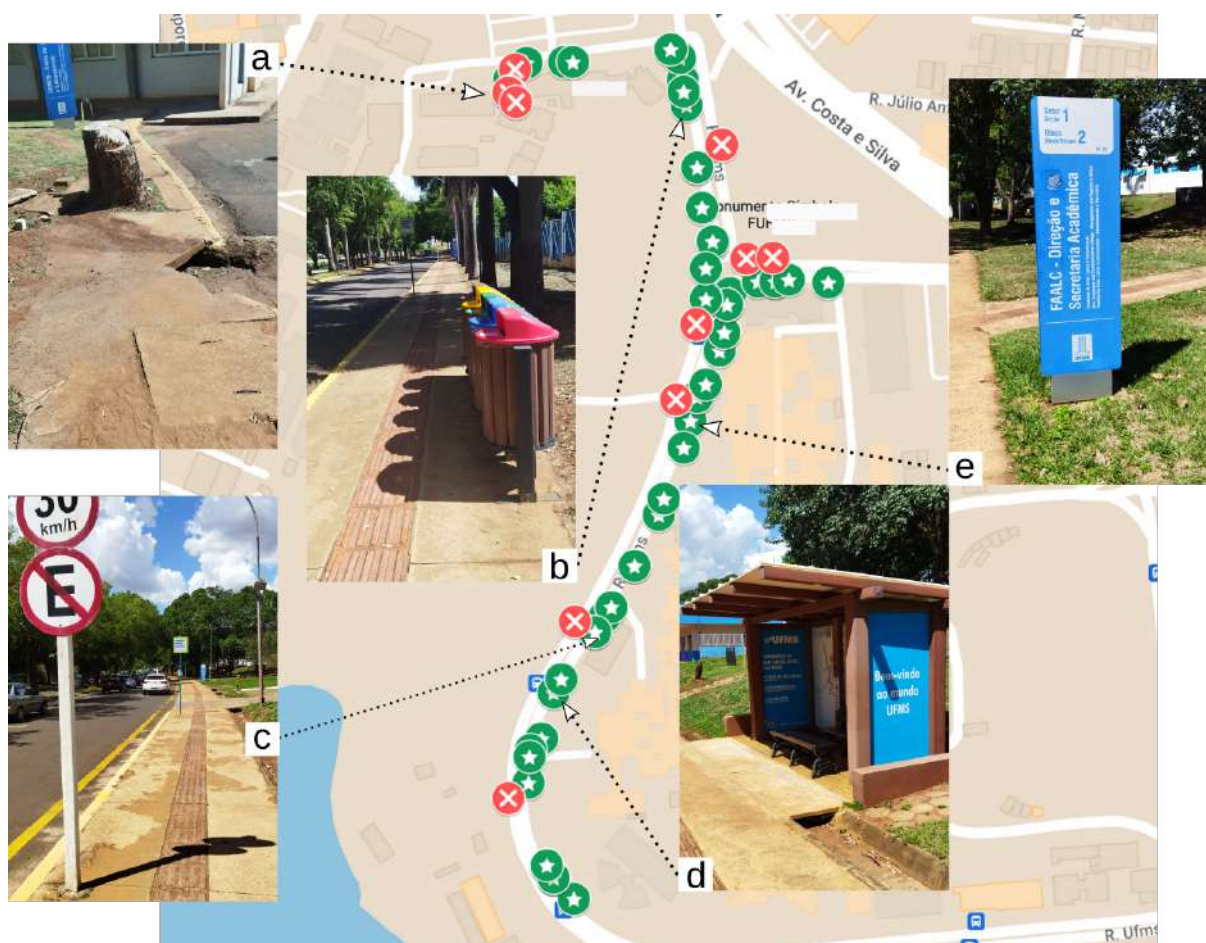


Figura 10 – Mapa da área avaliada na UFMS-CG com a marcação dos itens de acessibilidade. Descrição da figura: Mapa estilo atlas gerado pelo Google Maps, apresentando um recorte da área da UFMS-CG. Cada marcador identificado na cor verde, representado por um ícone de estrela, representa um item de promoção da acessibilidade, enquanto cada marcador na cor vermelha, com um ícone de X, indica uma barreira. Em destaque há cinco fotos, cada uma apresentando um item registrado: (a) calçada sem piso tátil, com falhas e um tronco de árvore bloqueando a passagem; (b) lixeiras, instaladas ao lado do piso tátil; (c) calçada com piso tátil e uma placa de trânsito; (d) ponto de ônibus em formato de cabine semi fechada; (e) totem de sinalização com informações de identificação do ambiente, ao lado da calçada.

Ao comparar os registros de 2021 com os de 2023, verificou-se que as modificações realizadas na UFMS-CG tiveram um impacto direto nas condições de acessibilidade para as PcDV, incluindo a instalação de piso tátil em locais anteriormente desprovidos desse recurso. Na região da Biblioteca Central, destacaram-se duas ocorrências significativas:

1. Na entrada do prédio, foi instalado tanto o piso de alerta (Figura 11a) quanto o piso tátil de acesso ao prédio (Figura 11b).



(a) Piso de alerta instalado no ponto de conversão para acesso à biblioteca.



(b) Piso tátil direcional instalado em direção à porta de entrada da biblioteca.

Figura 11 – Piso tátil instalado no acesso ao prédio da Biblioteca Central.

2. No entorno da biblioteca, onde anteriormente não havia piso tátil em toda a extensão do calçamento (Figura 12a), foi registrada sua instalação durante o ano de 2023 (Figura 12b).



(a) Área do calçamento sem a presença do piso tátil, registrado no ano de 2021.



(b) Área do calçamento com o piso tátil instalado, registrado no ano de 2023.

Figura 12 – Calçamento no entorno do prédio da Biblioteca Central.

Em outras localizações foi identificada a correção da sinalização do piso tátil ao longo do calçamento. Na Figura 13a, pode-se observar o registro de 2021, onde a região de acesso a uma faixa de pedestre não possuía a devida sinalização com o piso tátil de alerta. Na Figura 13b, referente ao ano de 2023, é possível verificar a instalação do piso tátil de alerta no mesmo local.



(a) Piso tátil sem a sinalização com o piso de alerta, registrado no ano de 2021.



(b) Piso tátil sinalizado com o piso de alerta, registrado no ano de 2023.

Figura 13 – Piso tátil na região de acesso a uma faixa de pedestre.

Outra modificação registrada foi a alteração na sinalização de identificação dos espaços. Na Figura 14a, é possível observar dois *totens* verticais que sinalizavam a entrada da Faculdade de Ciências Humanas e da Faculdade de Direito (registro do ano de 2021). Na Figura 14b, no ano de 2023, o mesmo local exhibe apenas um *totem* vertical indicando a Faculdade de Ciências Humanas. Essa mudança ocorreu devido à relocação da Faculdade de Direito para outro ambiente.



(a) Dois totens verticais, identificando a Faculdade de Ciências Humanas e a Faculdade de Direito.



(b) Um totem vertical identificando a Faculdade de Ciências Humanas.

Figura 14 – Totens verticais utilizados para a identificação de ambientes na UFMS-CG.

Além das modificações resultantes das melhorias na infraestrutura dos ambientes, outros fatores dinâmicos também exercem impacto sobre suas características. Por exemplo, no caso do item *Som de queda d'água* que identifica a região de um córrego que atravessa a UFMS-CG, a intensidade sonora do fluxo d'água é diretamente influenciada pelo volume registrado de chuva.

Os elementos temporários representam um desafio no monitoramento dos ambientes. Nas Figuras 15a e 15b, podem-se observar registros da mesma localização em dois momentos distintos. A primeira apresenta uma barreira temporária, na qual pedras bloqueavam parcialmente a área de circulação de pedestres. A segunda, dias após o primeiro registro, mostra que a barreira não se encontrava mais no local.



(a) Calçamento parcialmente obstruído por pedras.

(b) Calçamento sem qualquer tipo de obstrução.

Figura 15 – Registro de uma mesma localização, com e sem barreira temporária.

Os fatos alertam para a necessidade e importância do monitoramento contínuo das condições de acessibilidade dos ambientes.

6.3 Etapa 3: desenvolvimento da tecnologia assistiva inteligente

Os resultados da terceira etapa englobam a **TAI** desenvolvida: um aplicativo para *smartphones*, projetado com base nos requisitos identificados em conjunto com **PcDV**.

O aplicativo foi denominado *Smart Cane Smart Routes*, fazendo referência aos termos em inglês *bengala inteligente* e *rotas inteligentes*. Ele possui duas funções principais: encontrar a melhor rota para um destino, levando em consideração as preferências do usuário e as condições do ambiente, e fornecer as orientações necessárias para que o usuário siga a rota e chegue ao destino.

As Figuras 16 e 17 apresentam a estrutura do aplicativo, sendo que a primeira exibe um diagrama geral com os componentes que compõem o contexto da ferramenta, e a segunda a estrutura do aplicativo, detalhando os recursos utilizados em cada uma de suas partes.

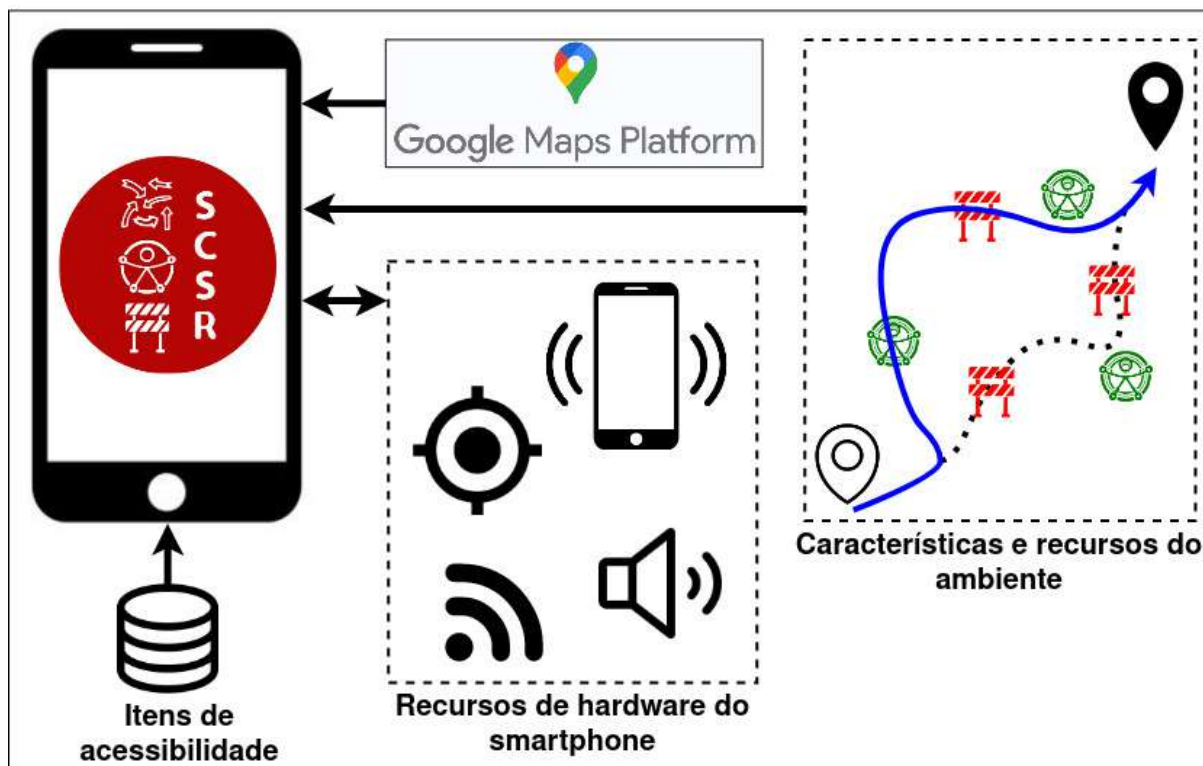


Figura 16 – Diagrama geral do aplicativo. Descrição da figura: O aplicativo é executado em um smartphone, utilizando os recursos de hardware disponíveis, como o receptor GPS, o motor de vibração, o sistema de emissão sonora e a conexão à internet. Ele consome dados de um banco de dados externo, que fornece informações sobre os itens de acessibilidade, além dos serviços do Google Maps Platform. Durante a execução da rota, o usuário recebe informações sobre a rota traçada, que pode ser diferente da rota original, dependendo das preferências do usuário e das condições do ambiente.

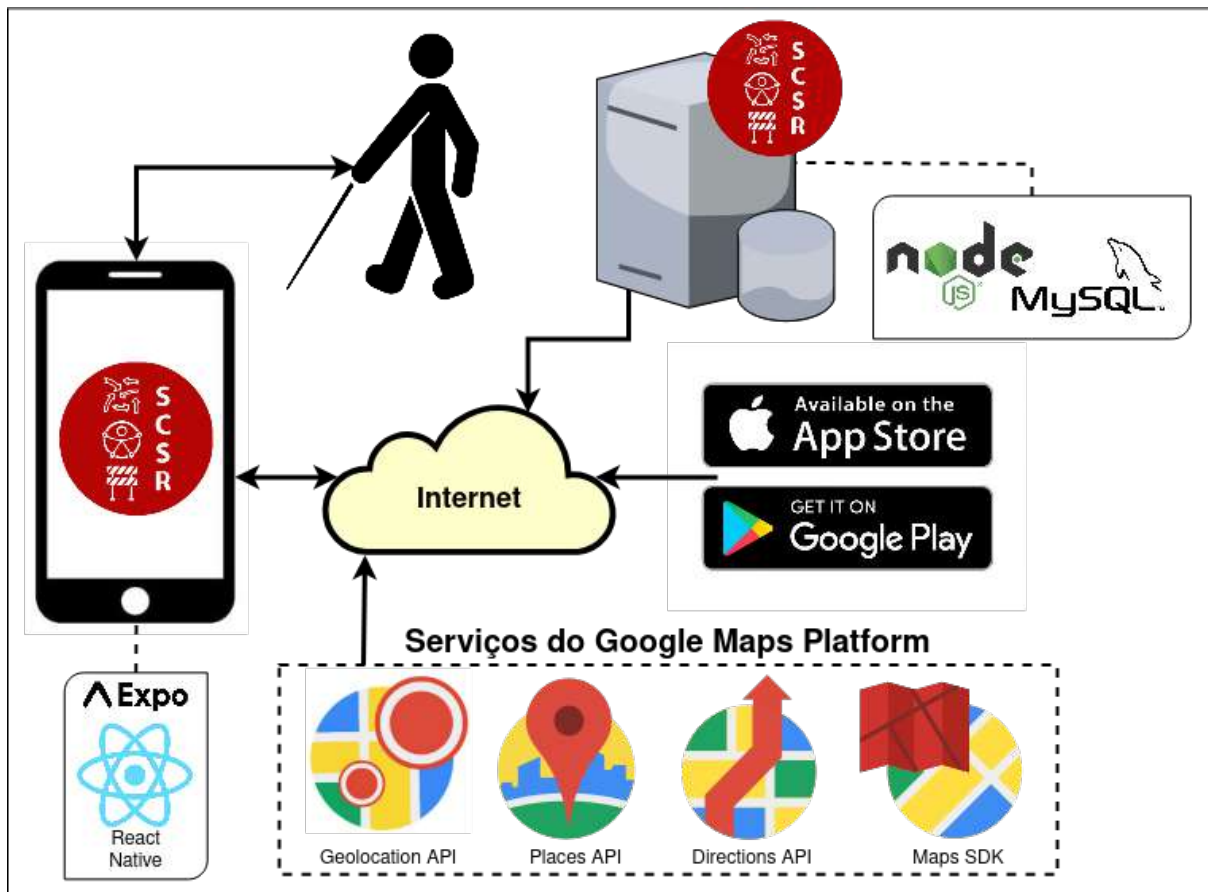


Figura 17 – Diagrama com a estrutura do aplicativo e os recursos utilizados. Descrição da figura: O usuário instala o aplicativo em seu smartphone a partir das lojas de aplicativos App Store ou Google Play. O aplicativo é composto por duas partes - o módulo cliente, que é executado no smartphone e desenvolvido com React Native e Expo, e o módulo servidor, que é executado remotamente e utiliza NodeJS e um banco de dados MySQL. Os serviços do Google Maps Platform utilizados incluem a Geolocation API, Places API, Directions API e Maps SDK. A conexão entre as partes do sistema é realizada pela internet.

O aplicativo está dividido em duas camadas: uma atua como cliente, executada no *smartphone* do usuário e instalada a partir das lojas de aplicativos do Google e da Apple; a outra atua como servidor, hospedada em servidores remotos acessíveis pela internet, atendendo às requisições do módulo cliente. No *smartphone*, é necessário ter acesso ao [GPS](#) do dispositivo e uma conexão à internet.

Para avaliar as condições do ambiente, são utilizados os registros dos itens de acessibilidade provenientes das visitas realizadas à universidade, que foram inseridos em um banco de dados.

Quanto às preferências do usuário, existe uma funcionalidade para configurações, na qual o usuário faz suas escolhas para as notificações e define suas preferências para os itens de acessibilidade.

A origem da rota é obtida a partir do dispositivo **GPS** do *smartphone*, e o destino é fornecido pelo usuário. Uma vez que a origem e o destino são definidos, o aplicativo traça uma rota e busca otimizá-la, procurando por rotas alternativas que evitem as barreiras identificadas. Ao final, a melhor rota é apresentada ao usuário. Os serviços do *Google Maps Platform* são utilizados em conjunto com os recursos implementados no próprio aplicativo.

Durante a execução da rota, o usuário recebe orientações sobre as direções a seguir, que são atualizadas à medida que ele se desloca, além de informações sobre os itens de acessibilidade identificados ao longo da rota. Essas notificações são exibidas na tela e são acompanhadas por vibrações e áudios.

A Figura 18 apresenta o diagrama de casos de uso, que, na linguagem de modelagem unificada, ilustra e resume o escopo e a interação dos usuários com o aplicativo. O objetivo é representar os requisitos do *software* e mostrar o fluxo de eventos entre o sistema e os atores.

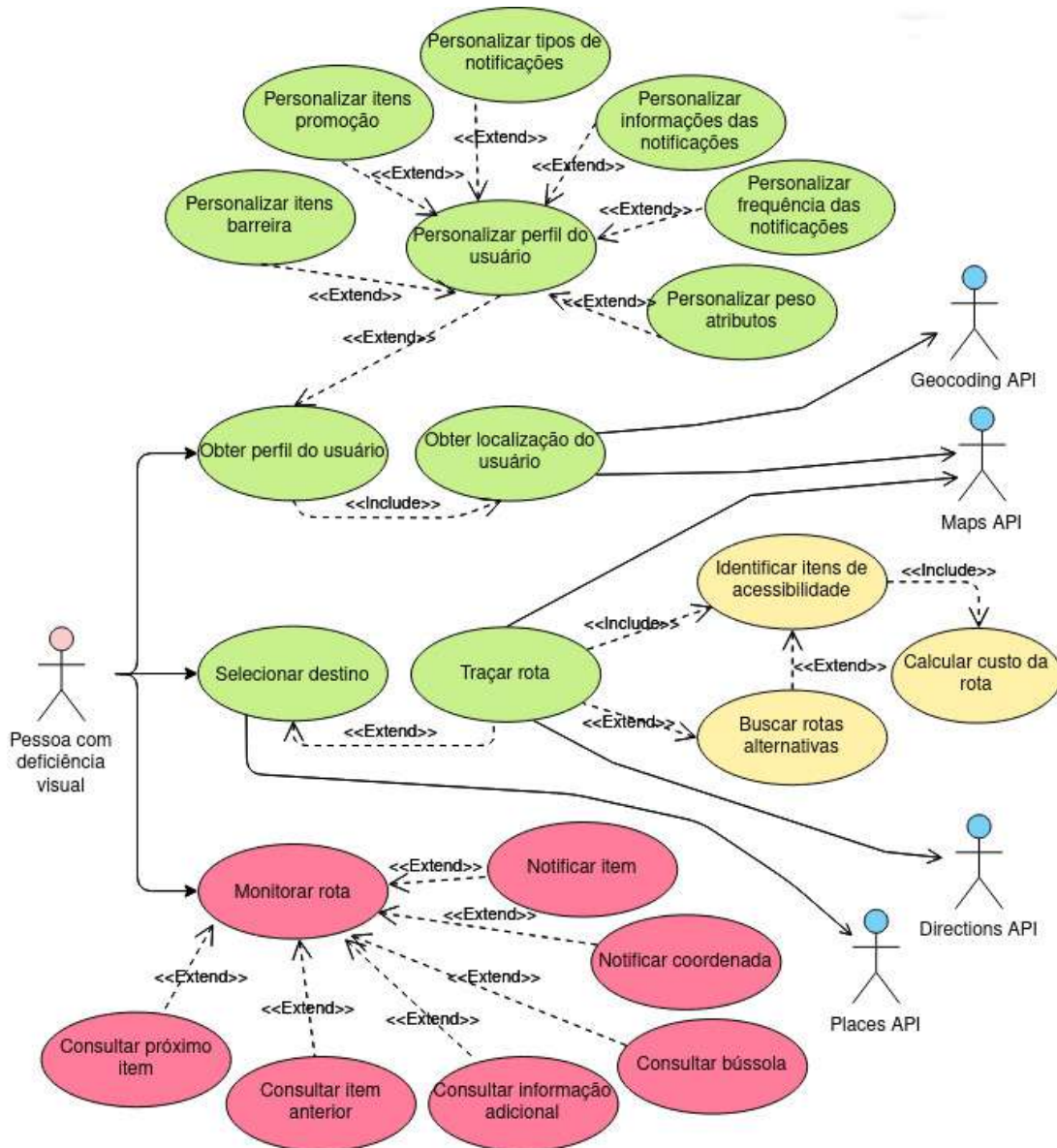


Figura 18 – Diagrama de casos de uso do aplicativo. Descrição da figura: Cada ator é representado por um ícone em forma de boneco palito, como os atores "Pessoa com deficiência visual", "Geocoding API", "Maps API", "Directions API" e "Places API", enquanto cada unidade funcional do sistema (caso de uso) é caracterizada por uma forma oval com rótulo. Os casos de uso do módulo "traçar rota" estão identificados na cor verde, do módulo "custo da rota" na cor amarela e do módulo "executar rota" na cor vermelha. A relação entre o ator e o caso de uso é simbolizada por uma linha.

Os resultados estão divididos em três subseções, detalhando cada um dos módulos do aplicativo. Na Subseção 6.3.1, é apresentado o módulo *Traçar Rota*; na Subseção 6.3.2, o módulo *Custo da Rota*; e na Subseção 6.3.3, o módulo *Executar Rota*. A descrição completa de todas as funcionalidades do aplicativo estão disponíveis no Apêndice C.

6.3.1 Módulo traçar rota

Este módulo incorpora as funcionalidades essenciais para o funcionamento do aplicativo, como a obtenção da localização do usuário, a seleção do destino e a criação da rota. Ele inclui funcionalidades que possibilitam a personalização do aplicativo, visando atender às preferências individuais de cada usuário.

Ao iniciar o aplicativo, a localização do usuário é obtida a partir do **GPS** e exibida na tela principal (Figura 19a).

Está disponível a opção *Configurações* para personalização do perfil do usuário (Figura 19b), com recursos para definir os *Itens de Barreira* e os *Itens de Promoção*, bem como preferências para as notificações, incluindo *Tipos de Notificações*, *Informações das Notificações* e *Frequência das Notificações*.

Na tela principal, existe uma caixa de edição na qual o usuário pode inserir o destino desejado para que o sistema trace a rota. A Figura 19c ilustra um exemplo no qual a palavra *UFMS* foi digitada, e o sistema apresenta sugestões para que o usuário escolha. Após a seleção de uma das opções, o sistema traça automaticamente a rota entre a localização atual do usuário e o destino informado.



- (a) Tela principal do aplicativo. Descrição da figura: Parte superior da tela apresenta um retângulo com fundo vermelho e letras brancas contendo o texto "Digite o destino desejado". Logo abaixo, há outro retângulo com fundo preto e letras brancas exibindo informações da localização atual do usuário. Mais abaixo, é exibido um mapa gerado pelo Google Maps. No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (cor vermelha) e "Configurações" (cor branca).
- (b) Tela personalizar perfil. Descrição da figura: Lista de seis botões com fundo vermelho e letras brancas, incluindo as opções "Itens de Barreira", "Itens de Promoção", "Tipos de Notificações", "Informações das Notificações", "Frequência das Notificações" e "Peso dos Atributos". No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (cor branca) e "Configurações" (cor vermelha).
- (c) Tela selecionar destino. Descrição da figura: Parte superior da tela com um retângulo (fundo vermelho e letra branca) contendo o texto "UFMS". Logo abaixo, encontra-se uma lista de sugestões de localidades (fundo preto com letra branca). Na parte inferior da tela, o teclado do smartphone está ativado.

Figura 19 – Tela principal, de configuração e de seleção do destino.

6.3.2 Módulo custo da rota

Neste módulo foram implementadas as funcionalidades que caracterizam a *inteligência* da TA, ou seja, a capacidade de identificar a melhor rota. O sistema traça uma rota e verifica se ela corresponde ao melhor caminho de acordo com as preferências do usuário. Para realizar isso, são executadas quatro tarefas:

1. **Verificar a presença de itens de acessibilidade ao longo da rota:** A identificação dos itens da rota é realizada utilizando uma base de dados independente da aplicação. Quando a aplicação recebe uma coordenada geográfica, o banco de dados retorna uma lista de itens de acessibilidade localizados nas proximidades.
2. **Calcular o custo da rota:** O sistema utiliza os itens de acessibilidade obtidos para calcular o custo da rota. Esse custo é composto por três variáveis: a distância prevista da rota, o tempo previsto para a execução da rota e a quantidade de itens de acessibilidade (obtida subtraindo o total de barreiras do total de itens de promoção). Cada variável é multiplicada pelo peso correspondente definido no perfil do usuário. A fórmula utilizada é apresentada na função 6.1.

$$Custo_{Rota} = \{(Distancia_{Rota} * Distancia_{Peso}) + (Duracao_{Rota} * Duracao_{Peso}) + [(Barreira_{Quantidade} - Promocao_{Quantidade}) * Acessibilidade_{Peso}]\} \quad (6.1)$$

3. **Buscar rotas alternativas para desviar das barreiras identificadas:** Após calcular o custo, o sistema verifica se há alguma barreira na rota traçada. Se forem identificadas barreiras, o sistema inicia a busca por rotas alternativas. Para cada barreira encontrada, o sistema procura por itens de promoção nas proximidades que possam permitir que a rota seja desviada.
4. **Apresentar a rota com o menor custo ao usuário:** Quando uma rota alternativa é identificada, o sistema calcula o seu custo e a compara com o custo da rota original. Se o custo da rota alternativa for menor, ela se torna a rota principal e o sistema verifica se existem outras possibilidades.

A rota gerada é influenciada pelos tipos de itens de acessibilidade configurados no perfil do usuário, que afetam o custo da rota e a busca por rotas alternativas. As Figuras 20a (R1) e 20b (R2) ilustram duas rotas com a mesma origem e destino, mas com resultados distintos. As diferenças entre R1 e R2 incluem a distância (0,54 km vs. 0,59 km), a duração (6 minutos vs. 7 minutos) e a quantidade de itens de promoção (23 vs. 18). As diferenças são resultado de alterações na configuração do perfil do usuário, onde em R2 um tipo de item de promoção foi desativado.



(a) Rota traçada (R1). Descrição da figura: Na parte superior da tela, há um retângulo com fundo preto e texto na cor branca, que apresenta informações sobre a rota, incluindo distância, duração, quantidade de barreiras e itens de promoção. Abaixo, estão dois botões em formato retangular arredondado, com fundo vermelho e letras brancas, oferecendo as opções "Executar rota" e "Nova busca". Mais abaixo, encontra-se um mapa gerado pelo Google Maps, com uma linha tracejada conectando o ponto de origem e o ponto de destino, e marcadores ao longo do caminho. Um dos marcadores está ativado, exibindo a descrição do item "Placa". No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto, que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (em vermelho) e "Configurações" (em branco).

(b) Rota traçada (R2). Descrição da figura: Na parte superior da tela, há um retângulo com fundo preto e texto na cor branca, que apresenta informações sobre a rota, incluindo distância, duração, quantidade de barreiras e itens de promoção. Abaixo, estão dois botões em formato retangular arredondado, com fundo vermelho e letras brancas, oferecendo as opções "Executar rota" e "Nova busca". Mais abaixo, encontra-se um mapa gerado pelo Google Maps, com uma linha tracejada conectando o ponto de origem e o ponto de destino, e marcadores ao longo do caminho. No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto, que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (em vermelho) e "Configurações" (em branco).

Figura 20 – Telas com informações sobre as rotas traçadas.

Os detalhes dos algoritmos que implementam essas funcionalidades estão fornecidos no Apêndice C, enquanto na subseção 6.3.2.1 à 6.3.2.3 são apresentados os resultados das avaliações do módulo.

6.3.2.1 Avaliação da capacidade do algoritmo em otimizar as rotas

O algoritmo alcançou uma otimização das rotas em 52,75% (844 rotas) dos cenários avaliados. Especificamente, ao analisar por cidade, os resultados foram os seguintes: na cidade C1 (n=320), houve uma otimização de 50% das rotas (160); na cidade C2 (com n=320), a otimização atingiu 49,7% (159) das rotas; na cidade C3 (com n=320), foi possível otimizar 60,3% das rotas (193); na cidade C4 (com n=320), uma melhoria de 68,1% (218) foi obtida; por fim, na cidade C5 (com n=320), ocorreu uma otimização de 35,6% (114) das rotas.

Não houve associação entre o número de rotas otimizadas e as cidades (teste do qui-quadrado, $p=0,2426$). Os resultados estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11 – Resultados da avaliação da associação entre o número de rotas otimizadas e as localidades.

Rota otimizada	Cidades					Otimizada	Valor de P
	C1	C2	C3	C4	C5		
Sim	50(160)	49,7(159)	60,3(193)	68,1(218)	35,6(114)	52,7 (844)	0,2426
Não	50(160)	50,3(161)	39,7(127)	31,9(102)	64,4(206)		

Os resultados estão apresentados em frequência relativa (frequência absoluta). Valor de p no teste do qui-quadrado.

Considerando a variação do número de itens de acessibilidade utilizado em cada execução do algoritmo, o número de rotas otimizadas e não otimizadas foram comparados em relação ao número de itens de acessibilidade. A média do número de itens de acessibilidade nas rotas otimizadas foi de 262 ± 3 (média \pm erro padrão da média), enquanto nas rotas não otimizadas foi de 141 ± 4 . O número de itens de acessibilidade nas rotas não otimizadas foi significativamente menor do que nas rotas otimizadas (teste Mann-Whitney, $p < 0,0001$). Os resultados dessa comparação estão apresentados na Figura 21.

A comparação entre o número de itens de acessibilidade e o número de rotas otimizadas revela uma correlação linear significativa, positiva e forte entre as duas variáveis (teste de correlação linear de Spearman, $p < 0,0001$, $r = 0,9969$, $r^2 = 0,9411$), como ilustrado na Figura 22.

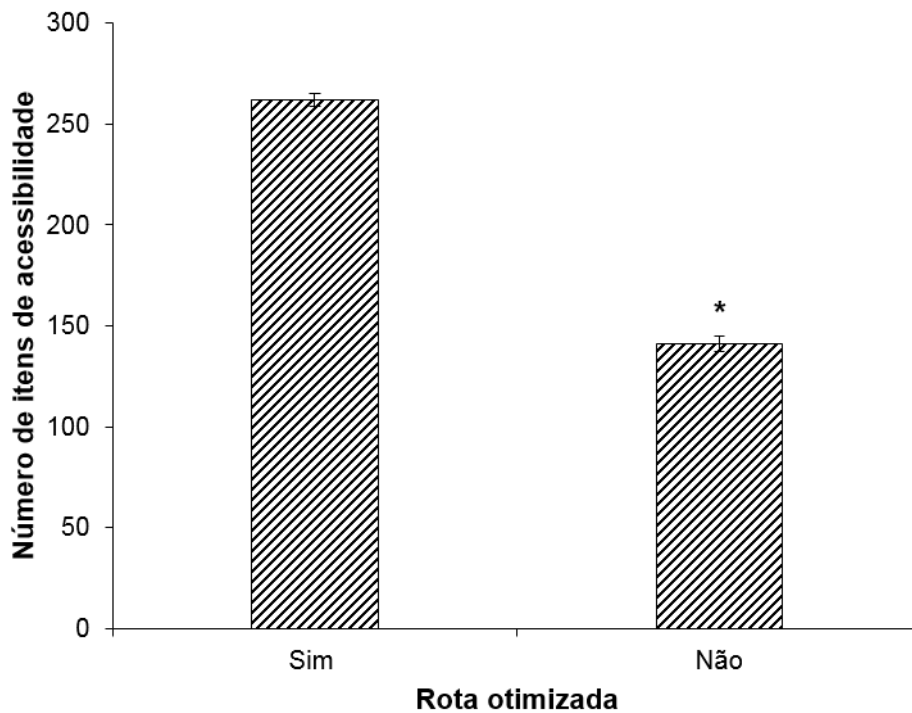


Figura 21 – Gráfico de colunas que exhibe o número de itens de acessibilidade nas rotas otimizadas e nas rotas não otimizadas. Descrição da figura: Cada coluna representa a média e a barra representa o erro padrão da média. * Diferença muito significativa em relação as rotas otimizadas (teste Mann-Whitney, $p < 0,0001$).

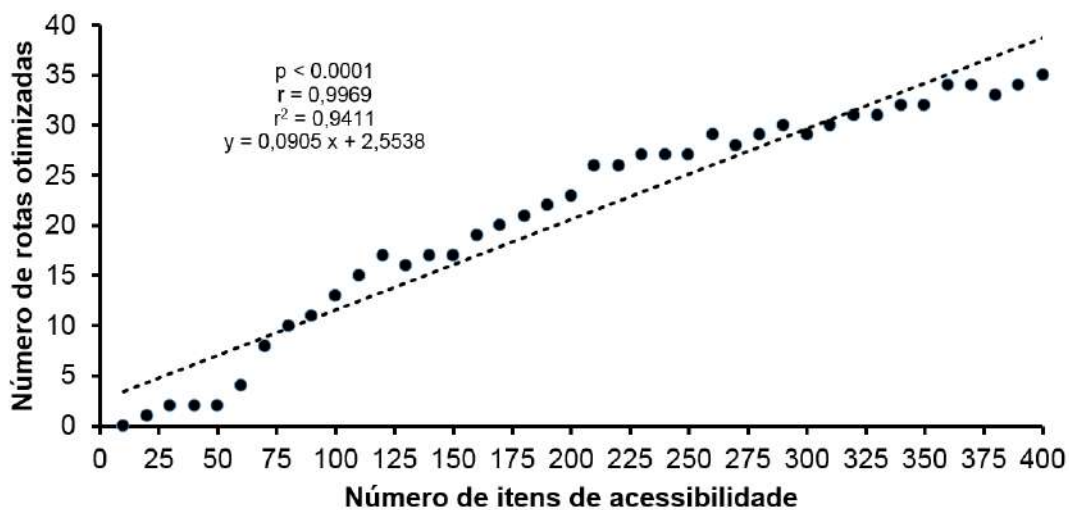


Figura 22 – Gráfico de dispersão apresentando a regressão linear entre o número de itens de acessibilidade das rotas e o número de rotas otimizadas. Descrição da figura: Gráfico de dispersão apresentando a regressão linear significativa, positiva e forte entre o número de itens de acessibilidade das rotas e o número de rotas otimizadas. Cada símbolo representa o valor das duas variáveis e a linha tracejada representa a linha de regressão. Valor de p no teste de correlação linear de Spearman. r =coeficiente de correlação linear.

Na comparação entre a taxa de otimização das rotas e as cidades avaliadas, não foi encontrada diferença significativa (teste Kruskal-Wallis, $p=0,1039$). A taxa de otimização para a cidade C1 foi de $0,127\pm 0,007$ (média±erro padrão da média), para a cidade C2 foi de $0,108\pm 0,004$, para a cidade C3 foi de $0,142\pm 0,008$, para a cidade C4 foi de $0,114\pm 0,005$ e para a cidade C5 foi de $0,106\pm 0,005$. Os dados estão apresentados na Figura 23.

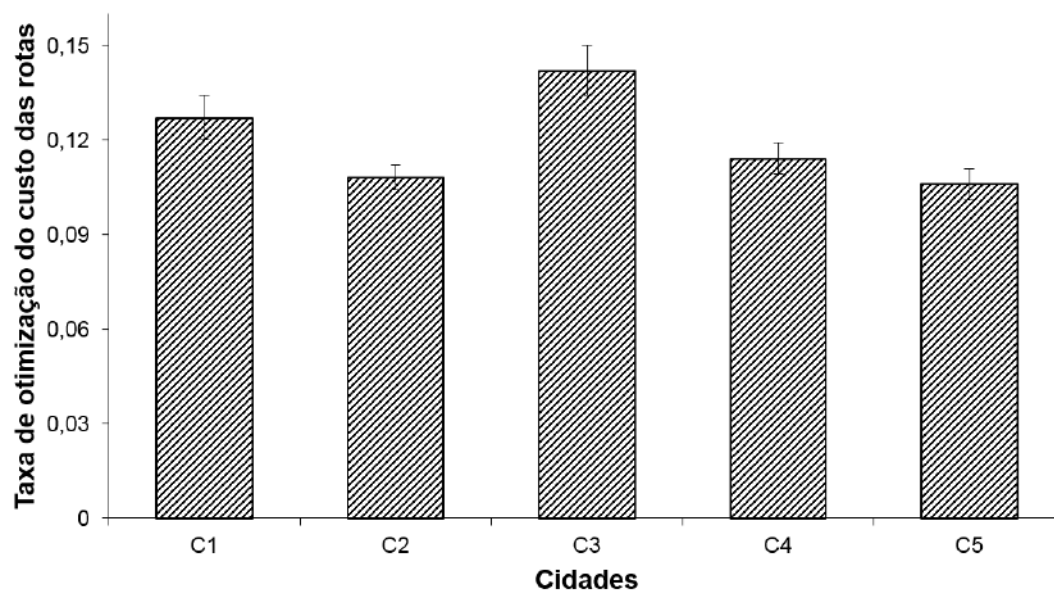


Figura 23 – Gráfico de colunas que representa a taxa de otimização do custo das rotas de acordo com as localidades avaliadas. Descrição da figura: Cada coluna no gráfico representa a média e a barra o erro padrão da média. * Não houve diferença significativa entre a taxa de otimização das rotas e as localidades (teste Kruskal-Wallis, $p=0,1039$).

Os resultados da avaliação da correlação linear entre o número de itens de acessibilidade e a taxa de redução do custo das rotas otimizadas estão apresentados na Figura 24. Houve uma correlação linear significativa, positiva e fraca entre as duas variáveis (teste de correlação linear de Spearman, $p < 0,0001$, $r = 0,3391$, $r^2 = 0,1202$).

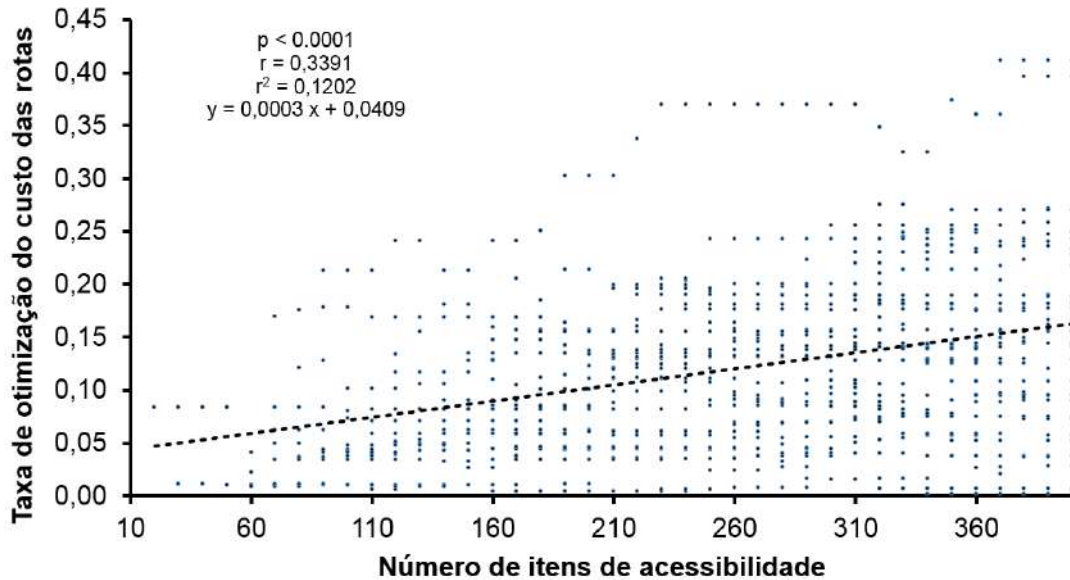


Figura 24 – Gráfico de dispersão apresentando a regressão linear entre o número de itens de acessibilidade das rotas e a taxa de redução do custo das mesmas. Descrição da figura: Regressão linear significativa, positiva e fraca entre o número de itens de acessibilidade das rotas e a taxa de redução do custo das mesmas. Cada símbolo representa o valor das duas variáveis para uma única rota. A linha tracejada representa a linha de regressão. Valor de p no teste de correlação linear de Spearman. r =coeficiente de correlação linear.

6.3.2.2 Avaliação da capacidade do algoritmo em traçar as rotas na UFMS

O algoritmo foi utilizado para traçar as 12 rotas de interesse na UFMS-CG. Na primeira simulação, o algoritmo não modificou nenhum dos caminhos originalmente fornecidos pelo Google Maps. Esperava-se que 8 rotas fossem modificadas e as outras 4 mantivessem a rota original, pois já apresentavam o melhor caminho. Na Tabela 12, há um resumo das rotas avaliadas.

Avaliando as rotas, constatou-se que o Google Maps sugeriu os caminhos por ambientes que não foram mapeados durante a coleta de dados na UFMS-CG. Por exemplo, na Avenida da Ciência, utilizada em todas as rotas, apenas um dos lados da rua foi mapeado, e o Google Maps utilizou justamente o lado contrário para traçar as rotas. O algoritmo depende desses dados para iniciar o processo de busca por caminhos alternativos.

Tabela 12 – Avaliação das rotas geradas na UFMS-CG utilizando o algoritmo.

Rota	Melhor caminho	Intervenção no algoritmo para
Biblioteca Central → Fac. de Computação	Sim*	-
Biblioteca Central → Fac. de Medicina	Sim	Travessia pela faixa
Biblioteca Central → Rest. Universitário	Sim	Travessia pela faixa
Fac. de Computação → Biblioteca Central	Sim*	-
Fac. de Computação → Fac. de Medicina	Sim	-
Fac. de Computação → Rest. Universitário	Sim*	Travessia pela faixa
Fac. de Medicina → Biblioteca Central	Sim	Travessia pela faixa
Fac. de Medicina → Fac. de Computação	Sim	-
Fac. de Medicina → Rest. Universitário	Não	Melhor caminho
Rest. Universitário → Biblioteca Central	Sim	Travessia pela faixa
Rest. Universitário → Fac. de Computação	Sim*	Travessia pela faixa
Rest. Universitário → Fac. de Medicina	Não	Melhor caminho

*Melhor caminho sugerido originalmente pelo Google Maps.

Neste cenário, cabe ressaltar dois aspectos:

1. Se nenhuma barreira é identificada na rota original, o algoritmo não busca por caminhos alternativos;
2. O Google Maps sugere a rota pelo caminho com menor distância/tempo, o que consequentemente faz com que a distância/tempo da rota sugerida pelo algoritmo seja maior. Desta maneira, a rota alternativa será a melhor opção somente quando a quantidade de itens de acessibilidade identificados compense o aumento da distância/tempo da rota.

Sendo assim, realizou-se a coleta dos dados destes espaços e executou-se uma nova simulação. Como resultado, oito rotas foram modificadas e quatro rotas originais mantidas.

Dentre o total de rotas, duas delas ainda não apresentaram a melhor opção, mesmo após a modificação da rota original. Isso se deve a uma limitação na estratégia do algoritmo, que procura um desvio sempre que identifica uma barreira. Nesse caso específico, a falta de alternativas para desvio impediu a otimização da rota.

Nessas circunstâncias, reconhece-se a necessidade de incorporar ao algoritmo uma avaliação da importância de cada item de acessibilidade, a fim de evitar a seleção de rotas inadequadas. Nos dois casos analisados, parte do trajeto ocorria por uma trilha desprovida de recursos de acessibilidade. No entanto, apenas uma barreira foi efetivamente identificada (a ausência de piso tátil). Em um cenário onde fossem atribuídos pesos aos elementos de acessibilidade, seria possível descartar esse tipo de rota, tornando obrigatória a busca por uma rota alternativa.

Apesar da possibilidade de atribuir um peso a cada item identificado, essa estratégia não foi implementada nesta versão. Como solução, realizou-se uma modificação paliativa no algoritmo, que resolveu especificamente o problema das duas rotas - o algoritmo desvia obrigatoriamente da região citada. Com essa intervenção, todas as rotas passaram a ser sugeridas pelo melhor caminho.

Ao realizar uma avaliação detalhada das rotas, identificaram-se algumas inconsistências relacionadas à maneira como o Google Maps traça os caminhos. O recurso do Google utiliza a pista de rolamento como referência e tende a ignorar elementos exclusivos para pedestres, como calçadas e faixas de pedestre.

Em uma das ocorrências, constatou-se que a rota poderia ser simplificada com a utilização de uma faixa de pedestres. A Figura 25 ilustra essa situação, destacando o caminho sugerido e a faixa de pedestres ignorada pelo algoritmo.



Figura 25 – Trecho de uma rota inconsistente, que ignora uma faixa de pedestre. Descrição da figura: Mapa no estilo satélite gerado pelo Google Maps, mostrando um recorte da região do restaurante universitário na UFMS-CG. A rota é representada por uma linha (na cor azul), a direção da rota é indicada por setas (na cor vermelha), e a área com a faixa de pedestres é destacada por um quadrado com borda tracejada (cor vermelha).

Outra ocorrência deu-se em uma rotatória, que apesar de possuir três pontos de travessia para pedestres, nenhum foi incluído na rota sugerida pelo Google Maps. A Figura 26 apresenta a rota, destacando os pontos de travessia para pedestres.



Figura 26 – Trecho de uma rota inconsistente, passando por uma rotatória. Descrição da figura: Mapa no estilo satélite gerado pelo Google Maps, exibindo um recorte da região da Biblioteca Central na UFMS-CG. A rota é representada por uma linha (na cor azul), e a localização das faixas de pedestres é indicada por retângulos (cor vermelha).

Para mitigar o problema, foram feitos ajustes no algoritmo, solucionando as ocorrências na rotatória da Biblioteca Central. As alterações foram específicas para atender a esse ambiente, cientes de que em outros ambientes as ocorrências podem persistir.

Por fim, observou-se uma incoerência no algoritmo, que o levava a desviar do caminho apenas para encontrar um item de promoção, sem otimizar efetivamente a rota. Por exemplo, em uma rota entre os pontos A e C, o algoritmo inseria um desvio até o ponto B. Esse desvio era desnecessário, visto que, ao encontrar o item, o algoritmo sugeria o retorno pelo mesmo caminho do desvio. O algoritmo não detectou a incoerência, uma vez que a inclusão do item de promoção tinha um impacto maior no custo da rota em relação ao aumento da distância. O algoritmo foi corrigido e, para qualquer situação semelhante, o problema foi corrigido. O problema é ilustrado na Figura 27.

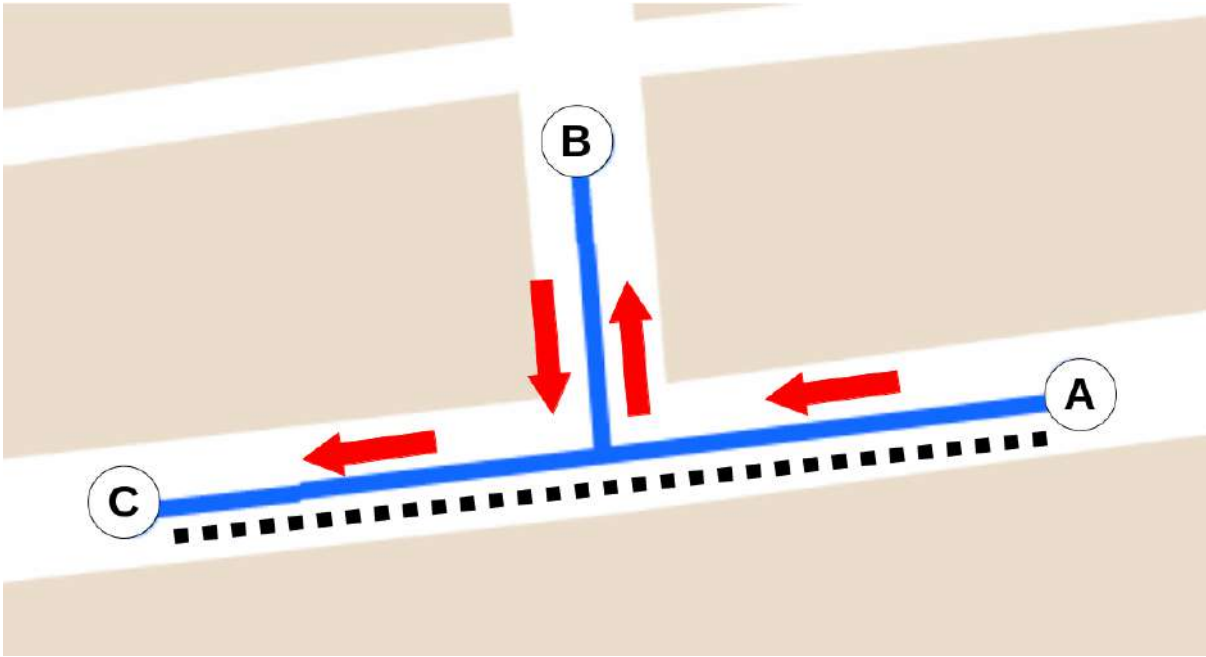


Figura 27 – Trecho de uma rota inconsistente, com desvio insignificante. Descrição da figura: Mapa no estilo atlas gerado pelo Google Maps, mostrando uma intersecção na UFMS-CG. A rota é representada por uma linha (na cor azul), e a direção da rota é indicada por setas (na cor vermelha). O início da rota é marcado por um símbolo com a letra "A", o ponto de desvio é marcado com um símbolo com a letra "B", e o final da rota é marcado por um símbolo com a letra "C". Adicionalmente, há uma linha reta pontilhada (na cor preta) unindo os símbolos "A" e "C", representando o caminho original da rota.

6.3.2.3 Avaliação da capacidade do algoritmo em identificar os itens de acessibilidade

Em algumas rotas, o algoritmo não identificou todos os itens de acessibilidade. Isso aconteceu devido à distância entre as coordenadas que compõem uma rota, geradas pelo Google Maps.

Para cada coordenada da rota, o algoritmo verifica a presença de itens de acessibilidade em um raio de até 5 metros. Isso significa que, dependendo da distância entre as coordenadas, pode haver áreas sem cobertura. Como exemplo, considere três coordenadas (A, B e C). A distância entre A e B é de 9 metros, enquanto a distância entre B e C é de 18 metros. O algoritmo cobrirá o espaço entre as coordenadas A e B, mas não cobrirá todo o espaço entre as coordenadas B e C (18 metros), uma vez que o raio de cobertura é limitado a apenas 5 metros a partir de cada coordenada. A Figura 28 ilustra este exemplo.

O algoritmo foi modificado para gerar coordenadas intermediárias sempre que o intervalo entre duas coordenadas subsequentes for maior que 10 metros. Utilizando o exemplo anterior como referência, foram adicionadas novas coordenadas entre os pontos B e C, como ilustrado na Figura 29. Após as modificações, nenhuma inconsistência foi identificada quanto aos itens de acessibilidade das rotas avaliadas.

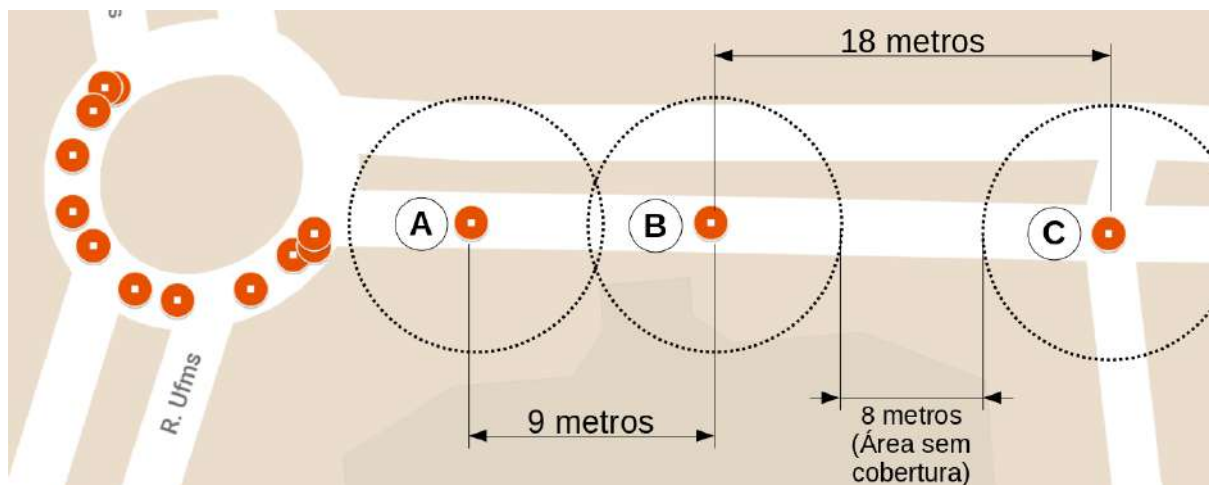


Figura 28 – Intervalo entre as coordenadas que compõem uma rota. Descrição da figura: Mapa no estilo atlas gerado pelo Google Maps, exibindo um recorte da UFMS-CG. Cada círculo em vermelho representa uma coordenada que compõe a rota. Três coordenadas são identificadas como "A", "B" e "C", cada uma inserida em um círculo maior, delineado por linhas tracejadas. Entre as coordenadas "A" e "B" a distância é de 9 metros, entre as coordenadas "B" e "C" a distância é de 18 metros. No limite dos círculos maiores que abrangem "B" e "C", há uma distância de 8 metros (área sem cobertura).

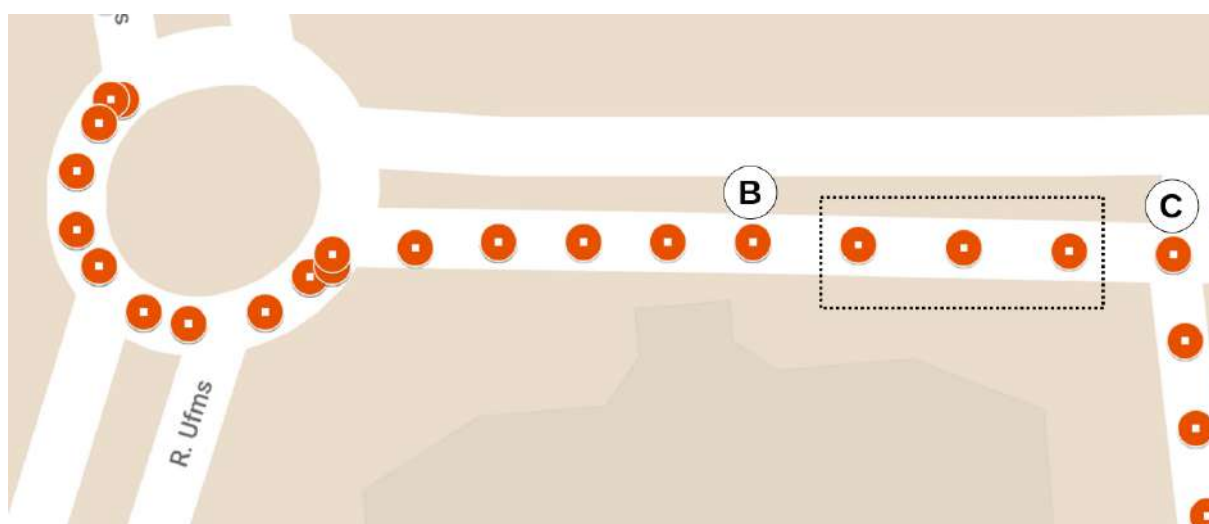


Figura 29 – Rota com coordenadas adicionadas em intervalo. Descrição da figura: Mapa no estilo atlas gerado pelo Google Maps, exibindo um recorte da UFMS-CG. Cada círculo em vermelho representa uma coordenada que compõe a rota. Três coordenadas adicionais entre os pontos "B" e "C", destacadas por um retângulo com linha pontilhada na cor preta.

6.3.3 Módulo executar rota

Este módulo engloba as funcionalidades que fornecem orientações para que o usuário siga a rota. Ao iniciar a execução de uma rota, são emitidos dois tipos de notificações: (1) com informações das coordenadas que o usuário deve seguir; (2) com informações sobre os itens de acessibilidade identificados. A Figura 30 exibe a tela com as instruções para que o usuário siga a coordenada atual da rota e apresenta as informações sobre o item de acessibilidade identificado.



Figura 30 – Tela com as orientações da rota e informações do item de acessibilidade. Descrição da figura: Na parte superior da tela, um retângulo com fundo preto e texto na cor branca apresenta as instruções para a execução da rota, juntamente com a distância a ser percorrida. Abaixo, novo retângulo (fundo preto e letra branca), com as informações do item de acessibilidade identificado. Mais abaixo, há uma lista de quatro botões em formato retangular arredondado, com fundo vermelho e letras brancas, oferecendo as opções "Próximo Item", "Item Anterior", "Informações Adicionais" e "Encerrar". No rodapé da tela, um retângulo com fundo preto contém duas opções: "Monitora" em vermelho e "Bússola" em branco.

As notificações, que contêm as coordenadas que o usuário deve seguir, são apresentadas continuamente na tela, e a distância é atualizada conforme o usuário se desloca. As notificações sobre os itens de acessibilidade são ativadas quando o usuário está a uma determinada distância do item e são apresentadas continuamente na tela, acompanhadas de notificações por vibração e som (bipe e/ou voz).

As diferenças de desempenho do aplicativo em relação às notificações não foram avaliadas ou comparadas em diferentes configurações do perfil do usuário. Existe a hipótese de que atrasos podem ocorrer nas notificações por voz. Se uma nova notificação for emitida durante a reprodução de uma anterior, haverá a formação de uma fila de notificações. Portanto, a nova notificação aguardará o término da anterior, atrasando a reprodução em relação ao momento de sua emissão. Esse atraso fará com que o usuário receba a informação em um contexto diferente daquele em que a notificação foi emitida.

Foram implementadas duas estratégias preventivas para evitar a sobreposição de notificações. Na primeira estratégia, os itens de acessibilidade identificados em um raio de até 5 metros são agrupados. Ao emitir uma notificação, o aplicativo exibe as informações de todos os itens agrupados e a distância estimada até o item mais próximo. Na segunda, quando os itens de acessibilidade são identificados, a notificação por voz é reproduzida uma única vez. Quanto às notificações na tela, vibração e bipe, elas são reproduzidas até o usuário passar pelo item.

As subseções 6.3.3.1 à 6.3.3.3 apresentam os resultados das avaliações do módulo.

6.3.3.1 Avaliação da diferença entre a distância notificada pelo aplicativo e a distância real na identificação dos itens de acessibilidade

Os resultados da diferença entre as distâncias fornecidas pelo aplicativo e as distâncias reais para os itens de acessibilidade estão apresentados na Tabela 13. Foi observada uma diferença extremamente significativa na comparação entre as distâncias (teste Wilcoxon, $p < 0,0001$).

Tabela 13 – Diferença entre as distâncias informadas pelo aplicativo e as distâncias reais.

	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Valor Mín.	Valor Máx.	Valor de p
Diferença das distâncias	1,04	2,28	0,08	-5,02	6,99	<0,0001

Os valores estão apresentados em metros. Valor de p no teste Wilcoxon.

A diferença obtida entre as medições foi de $1,04 \pm 2,28$ metros (média \pm desvio padrão da média) e o erro padrão de $\pm 0,08$ metros. Isso significa que as medidas obtidas estão próximas $\pm 2,28$ metros do valor real, e a proximidade entre as medidas é de $\pm 0,08$ metros.

Os resultados da comparação entre os locais avaliados, em relação ao erro médio para identificação dos itens de acessibilidade, estão apresentados na Figura 31. O erro médio em L1 foi de $2,27 \pm 2,12$ metros (média \pm desvio padrão da média); em L2, o erro médio foi de $-0,36 \pm 1,94$ metros; em L3, foi de $0,9 \pm 2,35$ metros; e em L4, foi de $1,31 \pm 1,79$ metros.

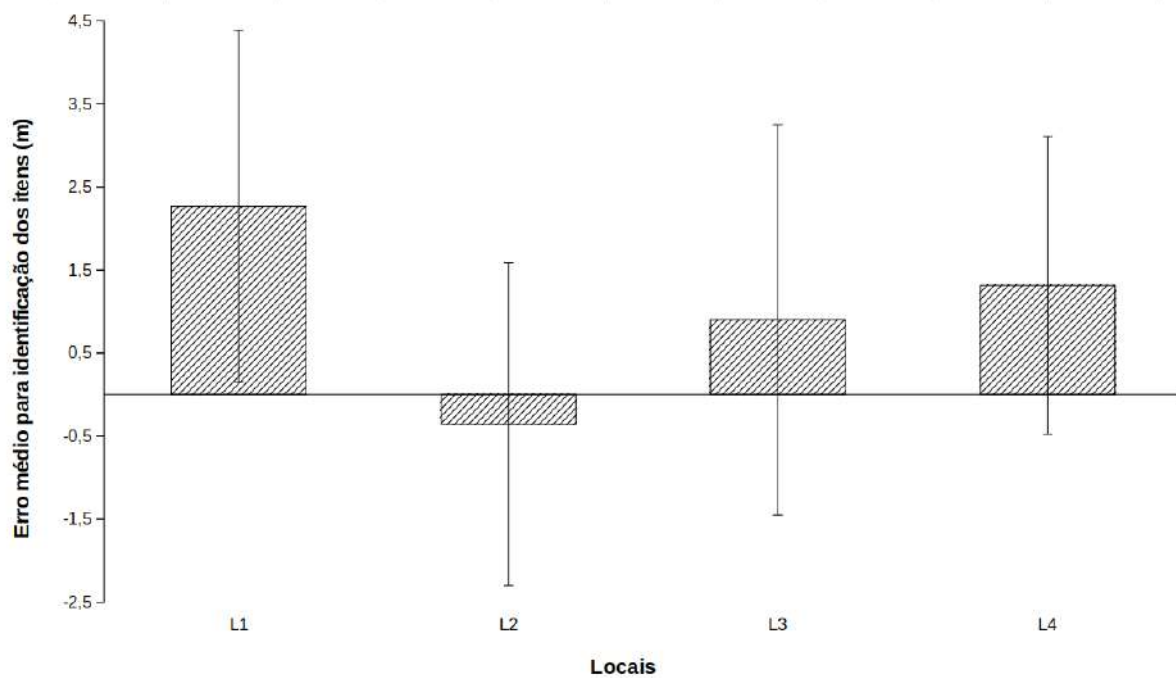


Figura 31 – Gráfico de colunas apresentando o erro médio para identificação dos itens de acessibilidade em relação aos locais avaliados. Descrição da figura: Cada coluna representa um local avaliado e a barra o desvio padrão da média. Diferença significativa em relação aos locais avaliados (teste Kruskal-Wallis, $p < 0,0001$).

A diferença do erro médio entre os locais avaliados é extremamente significativa (teste Kruskal-Wallis, $p < 0,0001$). Em L1, o valor é maior do que os identificados em L2, L3 e L4 (pós-teste de Dunn, $p < 0,001$). Por outro lado, em L2, o valor é menor do que os obtidos em L3 e L4 ($p < 0,001$). Entre os locais L3 e L4, não há diferença significativa ($p > 0,05$).

Os resultados da comparação entre os *smartphones* utilizados, em relação ao erro médio, estão apresentados na Figura 32. O erro médio em S1 foi de $1,86 \pm 1,66$ metros (média \pm desvio padrão da média). Em S2, o erro médio foi de $-0,1 \pm 2,09$ metros, e em S3, foi de $1,36 \pm 2,48$ metros.

A diferença do erro médio entre os *smartphones* é extremamente significativa (teste Kruskal-Wallis, $p < 0,0001$). Em S1 o valor é maior que os identificados em S2 (pós-teste de Dunn, $p < 0,001$) e S3 ($p < 0,05$), enquanto em S2 o valor é menor que em S3 ($p < 0,001$).

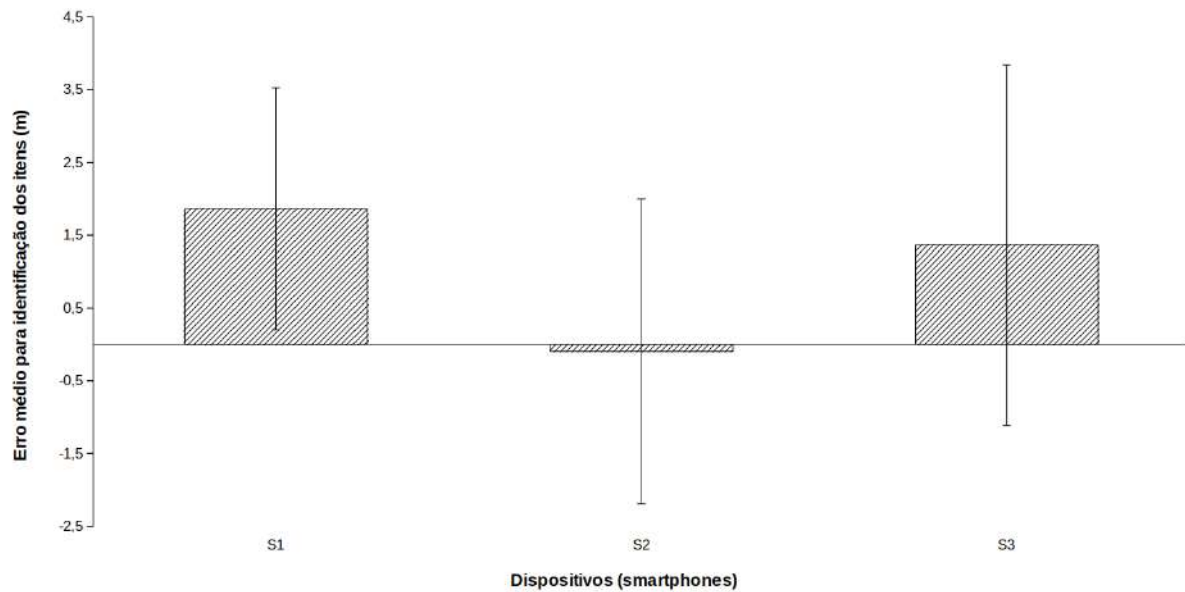


Figura 32 – Gráfico de colunas apresentando o erro médio para identificação dos itens de acessibilidade em relação aos smartphones utilizados. Descrição da figura: Cada coluna representa um *smartphone* utilizado e a barra o desvio padrão da média. Diferença significativa em relação aos *smartphones* avaliados (teste Kruskal-Wallis, $p < 0,0001$).

6.3.3.2 Avaliação da execução das rotas geradas

Os resultados da associação entre as ocorrências na execução das rotas e os *smartphones* utilizados estão apresentados na Tabela 14. Foi observada uma associação significativa das ocorrências em relação aos *smartphones* utilizados (teste qui-quadrado, $p < 0,0001$).

Tabela 14 – Resultados da avaliação da associação entre as ocorrências na execução das rotas e os smartphones utilizados.

Ocorrências	<i>Smartphones</i> utilizados				Valor de p
	S1	S2	S3	S4	
Nenhuma	100,0 (36) ^a	61,1 (22) ^b	69,4 (25) ^b	13,9 (5) ^c	<0,0001
Notificações com atraso	0,0 (0) ^b	38,9 (14) ^a	27,8 (10) ^a	36,1 (13) ^a	
Travamento	0,0 (0) ^b	0,0 (0) ^b	2,8 (1) ^b	50,0 (18) ^a	

Os resultados estão apresentados em frequência relativa (frequência absoluta). Valor de p no teste do qui-quadrado. Letras minúsculas diferentes na linha indicam diferença significativa entre os percentuais (teste do qui-quadrado, com correção de Bonferroni, $p < 0,05$).

As rotas executadas com o *smartphone* S1 não registraram nenhuma ocorrência ($n=36$). As executadas com os *smartphones* S2 e S3 apresentaram um percentual maior de rotas sem nenhuma ocorrência (61,1% - $n=22$ e 69,4% - $n=25$) em comparação com o *smartphone* S4 (teste exato de Fisher, com correção de Bonferroni, $p < 0,05$). Nos testes com os *smartphones* S2, S3 e S4 não identificaram-se diferenças em relação ao percentual de rotas que registraram atraso na notificação dos itens identificados (usuário informado

somente após a passagem pelo item). Isso foi confirmado pelo teste exato de Fisher, com correção de Bonferroni, com um valor de $p < 0,05$. Na avaliação com o *smartphone* S4 constatou-se um percentual maior de ocorrência quanto ao travamento do aplicativo (50,0% - $n=18$), quando comparadas com os demais *smartphones* (teste exato de Fisher, com correção de Bonferroni, $p < 0,05$).

6.3.3.3 Avaliação das orientações fornecidas para a execução das rotas geradas

A única ocorrência foi registrada nas rotas em que era necessária a mudança de direção para a travessia de uma rotatória. Apesar da rota já considerar o desvio (conforme relatado na subseção 6.3.2.2), as orientações emitidas não forneciam as direções que o usuário deveria efetivamente seguir. Sendo assim, o algoritmo foi modificado para fornecer as devidas orientações, de forma que auxiliasse a travessia pelas PcDV.

Embora não seja um problema relacionado às orientações para execução de uma ação pelo usuário, observou-se que, ao final das orientações, quando o aplicativo notifica a chegada ao destino, o usuário não está necessariamente no destino esperado. Quando essa ocorrência acontece, a localização é aproximada e exige o complemento da rota, para o qual não são fornecidas orientações.

6.4 Etapa 4: avaliação da tecnologia assistiva inteligente

Na quarta e última etapa, a TAI foi avaliada por PcDV em atividades que englobaram a avaliação das interfaces e das funcionalidades do aplicativo, conforme apresentado na subseção 6.4.1, e incluíram novas visitas à UFMS-CG, como detalhado na subseção 6.4.2.

6.4.1 Avaliação das interfaces e funcionalidades com voluntários

As descrições a seguir consistem em um compilado das avaliações do aplicativo pelos voluntários e de modificações realizadas, em resposta às avaliações.

Não foi registrada nenhuma ocorrência em relação à acessibilidade das telas, sendo que todas as telas e seus elementos foram identificadas pelos voluntários. Todavia, foram implementadas três melhorias:

1. Incluída uma barra de navegação no rodapé das telas, fornecendo atalhos para as principais funções do aplicativo.
2. As informações mais imediatas e relevantes são apresentadas no topo da tela, considerando que os leitores de tela navegam sequencialmente de cima para baixo.
3. Para atender usuários que ampliam o tamanho do texto na tela do *smartphone*, foi adicionada a função de rolagem (*scroll*) em todas as telas, permitindo que os

usuários naveguem na direção desejada para visualizar todo o conteúdo, mesmo após a ampliação do texto.

Em relação a tela *executar rotas*, foram adicionadas duas funcionalidades:

4. Incluídos atalhos de voz para acesso rápido às informações da coordenada que o usuário deve seguir e da distância restante a ser percorrida. Esses atalhos são ativados pelo botão físico de controle de volume do dispositivo, eliminando a necessidade de o usuário acessar a tela para obter essas informações.
5. Um alerta sonoro foi implementado para notificar o usuário caso a distância até o destino esteja aumentando, indicando que ele está se afastando da rota planejada.

Os usuários enfrentaram dificuldades na compreensão de algumas informações, resultando em quatro ocorrências:

6. Não compreensão do que representa alguns dos itens de acessibilidade notificados.
7. Dificuldade em assimilar as informações notificadas, especialmente quando uma notificação é seguida imediatamente por outra.
8. Confusão na distinção entre as orientações das coordenadas e as notificações dos itens de acessibilidade.
9. Desafio em compreender como usar a opção da *bússola*.

Para abordar as duas primeiras ocorrências, foram realizadas mudanças no aplicativo. Para a primeira situação, foi adicionada uma informação complementar detalhando cada item de acessibilidade, tornando mais claro o seu significado para o usuário. Quanto à segunda, foram incluídas na tela as descrições da orientação atual e da orientação anterior, permitindo que o usuário diferenciasse essas informações.

No que diz respeito às duas últimas ocorrências, não foram feitas alterações no aplicativo. Os incidentes ressaltaram a necessidade de enfatizar esses aspectos durante a apresentação do aplicativo aos usuários. De fato, após uma explicação mais detalhada sobre a função da *bússola* e a diferença das informações fornecidas pelo aplicativo, os usuários utilizaram essas funcionalidades sem intercorrências.

Duas ocorrências relacionadas ao desempenho do aplicativo foram registradas:

10. Dependendo da acurácia do **GPS** do dispositivo, o ponto de origem da rota poderia estar incorreto, levando a uma rota diferente da esperada, com base na localização real do usuário. Para mitigar essa possibilidade de erro, implementou-se uma regra

de que a localização do usuário só é confirmada (um pré-requisito para selecionar o destino) quando a acurácia estiver abaixo de 15 metros.

11. A acurácia da distância dos itens identificados variou conforme o dispositivo utilizado. Embora não seja o foco da avaliação, a hipótese é que a acurácia é melhor com dispositivos iPhone, em comparação com outros *smartphones*.

Por fim, foram detectados dois problemas, um que afeta diretamente todos os usuários e outro que ocorre eventualmente:

12. Ao final da execução da rota, ou seja, quando o aplicativo notifica a chegada ao destino, pode acontecer do usuário não estar efetivamente no destino desejado. Isso ocorre porque o Google Maps fornece orientações apenas para a parte da rota que é acessível de carro, ignorando os aspectos específicos de navegação a pé que podem ser necessários para chegar ao destino.
13. Travamento das notificações para a execução da rota ou dos itens de acessibilidade. Esses elementos são armazenados em uma estrutura de dados chamada *pilha*, na qual o elemento no topo da *pilha* é o próximo a ser acessado. Quando o usuário passa por um item ou coordenada, ele é removido da *pilha*, tornando o próximo elemento disponível para o sistema. Se, por algum motivo, a condição de retirada do elemento da *pilha* falhar, como em casos de travamento do dispositivo ou erro na acurácia do GPS, as notificações podem ser interrompidas. Nessa situação, o algoritmo continua esperando a passagem pelo elemento, que já foi deixado para trás, e o usuário não recebe qualquer tipo de notificação do sistema. Nenhuma correção foi implementada para esse cenário, pois as mudanças necessárias envolvem a modificação das estruturas de dados utilizadas e do algoritmo que detecta a passagem pelos elementos, o que requer uma nova bateria de testes para validar as alterações.

Após a implementação das mudanças mencionadas, a versão *beta* do aplicativo foi lançada nas lojas de aplicativos da Google (Google Play Store) e da Apple (App Store). Além disso, foi iniciado o processo de registro do aplicativo junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial, visando proteger seus direitos de propriedade intelectual.

6.4.2 Visita à UFMS: atividade de campo

Os resultados da visita dos voluntários à UFMS, utilizando o aplicativo, estão subdivididos em seis partes. As subseções 6.4.2.1 e 6.4.2.2 destacam as particularidades dos participantes e dos ambientes visitados. As subseções 6.4.2.3 e 6.4.2.4 detalham os problemas enfrentados com o uso do aplicativo. As subseções 6.4.2.5 e 6.4.2.6 relatam os aspectos positivos do aplicativo, incluindo melhorias nas condições de acesso para PcDV aos ambientes, e uma lista de ajustes.

6.4.2.1 Caracterização da participação dos voluntários

Durante a execução das rotas de avaliação, não foram observadas dificuldades dos participantes na interação com o aplicativo. É importante ressaltar a necessidade e importância da utilização simultânea da bengala, bem como o uso do piso tátil como referência. Em alguns momentos, a assistência de outras pessoas foi necessária.

As principais características observadas, com impacto direto na execução das rotas, foram a experiência da pessoa em orientação e mobilidade e o conhecimento geral sobre o ambiente, sendo que quando há um entendimento amplo do ambiente, a pessoa pode tomar decisões que facilitam uma locomoção mais eficiente e segura.

Um dos participantes, que tinha perdido a visão há 3 anos, enfrentou maiores dificuldades em locais em que havia a mudança de direção, mesmo com a sinalização no piso tátil. Ele precisava parar para buscar a continuidade do piso, enquanto os outros voluntários, que têm deficiência visual congênita ou são cegos há mais tempo, continuavam a caminhar e explorar a área com suas bengalas em busca da continuidade do piso. Na região de um estacionamento, sem a presença do piso tátil, este mesmo participante demonstrou maior dificuldade em se guiar, caminhando em zigue-zague e utilizando os itens que encontrava nas laterais, para reorganizar sua posição. Os demais participantes demonstraram maior facilidade em seguir *em linha reta*, havendo menos contato com os itens nas laterais.

Nos locais onde o piso tátil era interrompido, seja devido a falhas ou em locais de travessia de rua, todos os participantes enfrentaram dificuldades semelhantes ao tentar encontrar a continuação do caminho. Isso incluiu o participante que já estava familiarizado com as dependências da universidade, que mesmo sabendo da continuidade do piso tátil, não detectava a sua continuidade de forma natural. A diferença estava no fato de que o participante familiarizado com o ambiente sabia o que estava procurando, enquanto aqueles que não conheciam o ambiente não tinham essa referência.

Comparando o participante já familiarizado com a universidade aos demais, fica evidente que o conhecimento completo da estrutura dos ambientes é crucial. Por exemplo, saber da existência de uma faixa elevada para travessia da rua é importante, mas tão essencial quanto é compreender a estrutura dessa faixa.

6.4.2.2 Caracterização dos ambientes

Mesmo com o mapeamento prévio dos itens de acessibilidade, identificaram-se novas barreiras durante esta etapa da pesquisa, relacionadas a barreiras temporárias e à condição do piso tátil. Essas ocorrências incluíam sinalizações incorretas e desgastadas, além de áreas sem piso tátil.

No que diz respeito às barreiras temporárias, os incidentes resultaram em obstru-

ções à circulação dos pedestres e foram causados por ações inadequadas da população, tais como carro estacionado sobre a calçada (Figura 33a), carro bloqueando o acesso à rampa da calçada e um cone colocado sobre o piso tátil (Figura 33b). Outra situação foi provocada por um fenômeno natural, com um galho de árvore caído sobre o piso tátil.



(a) Voluntário caminhando sobre o piso tátil, com auxílio da bengala. À frente, um carro estacionado sobre a calçada, com a porta aberta.



(b) Cone bloqueando o piso tátil em uma calçada.

Figura 33 – Barreiras temporárias identificadas durante a visita à UFMS-CG.

No caso do cone e do galho de árvore, os voluntários conseguiram identificar e desviar das barreiras sem dificuldades significativas. Entretanto, quando se tratou do carro estacionado na faixa de acesso à calçada, o participante perdeu sua referência na travessia da rua, sendo forçado a buscar uma rota alternativa. O caso mais crítico envolveu um carro estacionado sobre a calçada, com a porta aberta, ampliando a área de bloqueio e colocando o voluntário em risco de colisão. Devido a essa situação, o participante foi alertado e guiado para contornar o carro, a fim de evitar um acidente.

As demais barreiras estavam relacionadas a problemas na estrutura da universidade, especialmente ao piso tátil. As ocorrências foram:

- A ausência de sinalização tátil em um ponto de ônibus. Segundo a [NBR 16537](#)

(ABNT, 2016), os pontos de parada de ônibus devem ter sinalização tátil direcional transversal à calçada. No ponto de ônibus entre a Faculdade de Ciências Humanas e a Faculdade de Computação, essa sinalização estava ausente.

- Piso tátil desgastado na região de acesso ao estacionamento da Faculdade de Computação. O piso tátil apresenta um desgaste significativo. Essa área causou apenas dificuldades menores aos participantes, que momentaneamente perderam a orientação, mas logo encontraram a continuidade devido ao desgaste ser em um área relativamente pequena.
- A ausência de sinalização tátil para mudança de direção no ponto de parada do Capi Shuttle (ônibus interno da UFMS) próximo à biblioteca central. De acordo com a NBR 16537, quando a mudança de direção forma um ângulo entre 90° e 150° , a sinalização tátil de alerta é necessária, porém estava ausente neste local. Este ponto da rota representou dificuldades para todos os voluntários, com exceção daquele que já estava familiarizado com a universidade. Houve inclusive o registro de um participante que perdeu o equilíbrio na guia do meio-fio por seguir reto. A Figura 34 apresenta o local em questão.

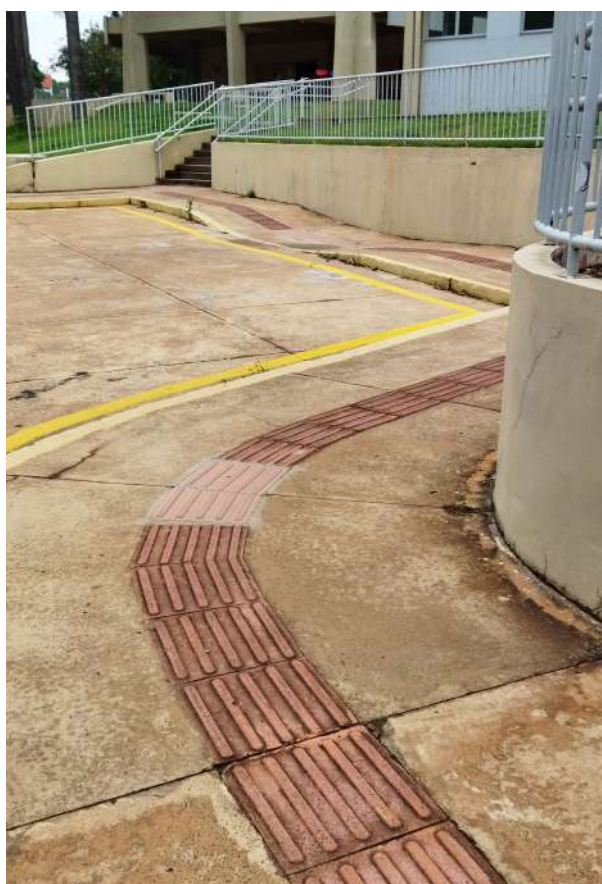


Figura 34 – Calçada com mudança de direção sem a sinalização de alerta no piso tátil. Descrição da figura: Calçada com piso tátil em uma área com mudança de direção, sem a devida sinalização com o piso de alerta.

- A ausência de infraestrutura adequada e presença de barreiras para acesso ao setor 2 da UFMS-CG, incluindo o acesso à Faculdade de Medicina. A Figura 35 ilustra um dos acessos à Faculdade de Medicina.



Figura 35 – Calçada sem infraestrutura acessível. Descrição da figura: Calçada sem piso tátil, com falhas e um tronco de árvore bloqueando a passagem.

- Piso tátil interrompido parcialmente na frente do acesso ao prédio da reitoria, devido a uma obra de arte no chão, representando uma bússola. Essa situação causou dificuldades aos participantes, uma vez que a área é ampla e, após a interrupção do piso tátil, há dois possíveis caminhos à frente, o que pode levar a pessoa a sair do trajeto original. A Figura 36 ilustra o local.



Figura 36 – Calçada na frente da reitoria da UFMS com interrupção no piso tátil. Descrição da figura: Calçada com piso tátil que é interrompido por uma obra de arte, representando uma bússola. Após a bússola, o piso tátil continua.

- A ausência de sinalização tátil em uma faixa elevada para travessia de pedestres e sinalização incorreta de alerta nos pontos de acesso à faixa. Conforme a NBR 16537, é necessário que haja sinalização tátil direcional nas faixas de travessia e sinalização tátil de alerta nas extremidades da faixa para identificar a área de acesso. A Figura 37 ilustra o local em questão.



Figura 37 – Faixa elevada para travessia de pedestres sem a presença do piso tátil. Descrição da figura: Faixa elevada para travessia de pedestres sem a presença do piso tátil. Na extremidade do ponto de acesso à faixa há um desnível (degrau), sem nenhuma sinalização.

As dificuldades observadas na travessia pela faixa ocorreram devido à ausência de sinalização adequada. Dentre elas, destaca-se a dificuldade da pessoa em identificar a entrada da faixa, que não estava sinalizada de acordo com as diretrizes da NBR 16537. Em uma situação crítica, que poderia ter resultado em um acidente, um dos participantes acessou a faixa pela extremidade e não percebeu um buraco ao lado, fazendo com que perdesse o equilíbrio. Outra situação deu-se na travessia pela faixa, quando não havia qualquer referência para a pessoa seguir. Como resultado, alguns participantes acabaram finalizando a travessia já fora da faixa e caminhando pela pista de rolamento.

Por fim, registrou-se a dificuldade das pessoas caminharem pelos estacionamentos, que não apresentavam as condições adequadas de acessibilidade para pedestres. Apesar da existência de um caminho alternativo acessível, o aplicativo utilizava os trajetos destinados

a carros como referência (uma característica do Google Maps). Portanto, não se trata de um problema que exija mudanças no ambiente, mas sim no algoritmo do aplicativo.

6.4.2.3 Problemas técnicos durante o uso do aplicativo

Os problemas técnicos referem-se as falhas na execução de funcionalidades do aplicativo, causadas por falhas de programação ou incompatibilidades com o *hardware* do dispositivo. Sumariamente os registros estavam associados a inconsistência com um leitor de tela; função *bússola* inacessível em alguns dispositivos; erro na inserção de dados com o recurso *Ditado por Voz*; sensibilidade da função de notificação quando o usuário está se afastando da rota planejada; e a baixa acurácia da localização obtida a partir do **GPS**. A seguir estão detalhadas as intercorrências.

- O aplicativo foi desenvolvido e testado com os leitores de tela TalkBack (Android) e VoiceOver (iOS). Durante os testes, um dos participantes utilizou o leitor de tela JieShuo, que apresentou inconsistências, principalmente na falta de emissão das informações complementares dos elementos da tela, como preconiza a **WCAG** (W3C, 2022a). É importante observar que o JieShuo funciona exclusivamente em dispositivos Android e tem se popularizado entre os usuários.
- A função *bússola* não funcionou nos dispositivos de dois participantes, que utilizavam o sistema Android. Durante os testes em laboratório, identificou-se que a função poderia não funcionar dependendo dos sensores disponíveis no *smartphone*. Para controlar essa situação, foi implementado um tratamento de erro que deveria notificar o usuário sobre a indisponibilidade do recurso em seu dispositivo. Apesar disso, nos dois casos, o aplicativo não forneceu a notificação esperada. Isso pode afetar negativamente a experiência do usuário, especialmente daqueles que dependem desta função para se orientar.
- No campo de edição do destino da rota, os usuários tinham a opção de utilizar o recurso *Ditado por Voz*, que é nativo nos sistemas Android e iOS. O recurso permitia que os usuários falassem em vez de digitar o texto, e o dispositivo traduzia a fala em texto escrito. Porém, ao utilizar esse recurso, os usuários enfrentaram dificuldades, pois o sistema preenchia o campo com informações duplicadas.
- Falha na função que notificava o usuário quando ele se afastava da rota planejada: uma primeira situação ocorreu quando os usuários pararam de caminhar - a oscilação na localização obtida fez com que, mesmo estando parados, a notificação fosse emitida erroneamente. Outro caso foi registrado com dois participantes, que não receberam a notificação de que haviam passado de um ponto de conversão. No primeiro caso, é necessário ajustar a sensibilidade do algoritmo para identificar a mudança de direção, enquanto no segundo caso, há um erro no algoritmo.

Neste contexto é possível realizar intervenções por meio de *software*, a fim de evitar os problemas. No entanto, algumas questões técnicas relacionadas ao dispositivo não podem ser solucionadas com alterações no *software*, como nas situações a seguir:

- Quando a acurácia da localização obtida pelo **GPS** não estava dentro do limite esperado - o erro máximo da posição obtida não pode ser superior a 15 metros. Em particular, os participantes com dispositivos Android enfrentaram esse problema: a obtenção da posição demorava para atender ao valor desejado, ou era necessário realizar intervenções nas configurações do dispositivo para melhorar a acurácia da localização.
- Similarmente ao caso anterior, um incidente foi registrado em relação à origem da rota. A posição obtida estava do lado oposto da rua em relação à localização real do usuário. Este incidente ocorreu durante a avaliação da rota piloto, momento em que o pesquisador ainda interagiu com o participante. Se o ocorrido fosse durante uma rota de avaliação, o participante enfrentaria dificuldades, pois haveria uma divergência entre as condições encontradas e as informações fornecidas pelo aplicativo.
- Em relação à acurácia da localização do usuário, ocorreu um caso em que ela era baixa, o que levou o participante a receber as notificações distantes da posição real, ora estavam atrasadas, ora adiantadas. O participante demorou a perceber que as informações fornecidas não correspondiam às condições reais e, somente então, solicitou ajuda a outra pessoa. Ele tentou reiniciar o aplicativo e traçar novamente a rota, mas o problema persistiu, uma vez que se tratava de um erro proveniente do *hardware* do dispositivo e não de uma condição do aplicativo.

Foram registrados dois problemas relacionados à emissão sonora do aplicativo. O primeiro ocorreu quando as notificações sonoras pararam de ser reproduzidas durante o uso do aplicativo, e o segundo envolveu a ausência de qualquer tipo de áudio do aplicativo. Em ambos os casos, não foi possível determinar a origem do problema. Na primeira situação, o problema surgiu após o usuário alterar uma configuração no leitor de tela do *smartphone*, enquanto na segunda, o usuário estava utilizando um fone de ouvido com conexão *Bluetooth*. A hipótese é que essas falhas sejam resultado de alguma configuração no controle de som do dispositivo e não do aplicativo.

6.4.2.4 Problemas funcionais no uso do aplicativo

Os problemas de ordem funcional estão relacionados às divergências entre as expectativas do usuário e o comportamento do aplicativo. Em outras palavras, a funcionalidade foi executada e se comportou exatamente da forma que foi programada, mas o usuário

aguardava um resultado diferente. Nestes casos, são necessárias modificações para alinhar os resultados às expectativas dos usuários. Mesmo que as mudanças não resolvam completamente o problema, elas minimizam os impactos para o usuário.

Os registros detalhados a seguir estão relacionados à área de cobertura da rota traçada, à falta de uma referência para identificar o local de mudança de direção, a trechos com mudanças de direção não notificadas pelo aplicativo, e à sobreposição e travamento na emissão das notificações.

- Quando o usuário traçava uma rota a partir de um local em que não havia nenhuma rua nas proximidades: um participante traçou uma rota a partir de um corredor que não era coberto pelo Google Maps. Como resultado, o início da rota não considerava exatamente a localização do usuário, fazendo com que as orientações não contemplassem o deslocamento pelo corredor. Neste caso, foi necessário o auxílio de outra pessoa para guiar o participante até a calçada que margeia a pista de rolamento, que era o ponto inicial da rota considerada pelo Google Maps.
- Notificação de chegada ao destino. Assim como no problema anterior, o ponto de chegada indicado pelo Google Maps é uma localização aproximada, pois o serviço não considera eventuais deslocamentos por calçadas ou corredores. Portanto, em todas as rotas percorridas, a notificação de chegada ocorreu nas proximidades da localização final.
- Notificação com orientação para mudança de direção. Os participantes frequentemente ficavam em dúvida sobre a localização exata para executar a instrução. Tecnicamente, o algoritmo notifica o usuário quando ele está a 15 metros do local desejado. Há dois fatores que interferem nesse valor: a acurácia da localização da pessoa e o ponto marcado pelo Google Maps para a execução da instrução, que considera a pista de rolamento como referência em vez da calçada. Foi observado que as pessoas buscavam alguma referência para a mudança de direção assim que recebiam a notificação. Em uma ocasião, o usuário mudou de direção ao encontrar uma sinalização de alerta no piso tátil, mas o ponto correto para a mudança estava mais adiante. Isso causou confusão e levou a pessoa a perder a referência, tornando as orientações subsequentes descontextualizadas de sua localização real e exigindo que ela buscasse ajuda de terceiros. Essa situação pode ocorrer quando existem dois pontos de mudança de direção próximos.
- Ausência de orientação do aplicativo em eventuais mudanças de direção. Foi recorrente a dificuldade dos voluntários em seguirem o calçamento na região do ponto de parada do ônibus Capi Shuttle (ilustrado anteriormente na Figura 34). No local, o aplicativo não forneceu nenhuma instrução para mudança de direção, pois considerava o mesmo sentido da pista de rolamento e este não possuía desvio. No

entanto, há um recuo na calçada, desviando exclusivamente a área de circulação dos pedestres. Como não houve notificação do aplicativo e a marcação do piso tátil estava inadequada, os participantes não mudaram a direção e saíram da área de calçamento, adentrando a pista de rolamento.

- Ao se aproximarem de uma faixa elevada para travessia, os participantes recebiam duas notificações: uma orientando a travessia pela faixa e outra informando a distância até ela. Dois participantes não perceberam a informação da distância, fazendo com que não identificassem o ponto de acesso da faixa. Eles só perceberam o erro quando passaram pelo local e o aplicativo notificou que a direção estava incorreta.
- Em outra ocasião, o aplicativo emitiu a notificação *vire à direita* e um pouco adiante, logo após o usuário ter feito a conversão, uma nova notificação foi emitida, novamente com a instrução *vire à direita*. O participante entendeu que a notificação ainda se referia à coordenada anterior, porém, era uma nova conversão à direita. Na tela do *smartphone*, era possível ler a orientação anterior e a atual, ambas mostrando a mesma informação para as duas coordenadas.
- Em um ponto específico, o aplicativo não forneceu a orientação necessária para o usuário mudar de direção. Esse problema ocorreu porque o Google Maps considerava o centro da pista de rolamento como referência (ponto A). Quando a rua era mais larga, a distância entre esse ponto A e a calçada (ponto B) tornava-se maior. Na prática, nessa localização específica, a distância entre o ponto A e o ponto B era de aproximadamente 12 metros. No entanto, se o erro na posição obtida pelo GPS do *smartphone* fosse superior a 3 metros, essa distância ultrapassaria os 15 metros. Consequentemente, nessas situações, o aplicativo deixava de emitir as notificações, uma vez que, por padrão, elas eram emitidas quando o usuário estava a menos de 15 metros do ponto de mudança de direção. O fato foi observado em mais de uma ocasião, porém não afetou todos os usuários. A Figura 38 ilustra o cenário relatado.

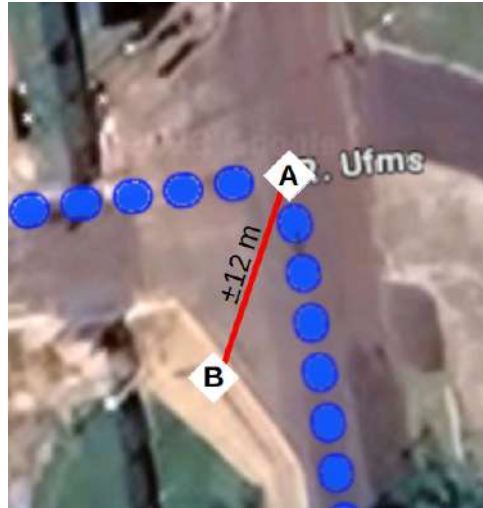


Figura 38 – Distância entre o ponto marcado pelo Google Maps e a calçada. Descrição da figura: Mapa no estilo satélite gerado pelo Google Maps, mostrando um recorte da UFMS-CG. A rota traçada é representada por símbolos na cor azul. O símbolo identificado com a letra A representa o ponto da rota marcado pelo Google Maps para que a mudança de direção seja executada. O símbolo com a letra B representa o ponto da calçada mais próximo ao ponto A. A linha vermelha representa a distância entre os pontos A e B, que é de aproximadamente 12 metros.

- Na mesma localização do relato anterior, havia um portão usado como item de referência. Em duas ocasiões, os participantes utilizaram a notificação da presença desse portão para confirmar a direção a seguir. Porém, devido ao aplicativo não ter identificado a passagem pelo ponto de referência (problema relatado no item anterior), o algoritmo interpretou que os participantes estavam indo na direção errada e emitiu uma notificação de erro, levando os participantes a buscar ajuda de terceiros. O fato é que mesmo quando existe um item de referência para o usuário seguir, se a premissa do algoritmo não é atendida (ou seja, se o usuário não passa pelo ponto de referência), o aplicativo fica travado e pode ocasionar o falso alerta de caminho incorreto.

6.4.2.5 Experiências positivas com o aplicativo

Nesta seção são apresentadas as experiências positivas e benefícios proporcionados com o uso da ferramenta, relatando as percepções e vivências dos voluntários.

Durante o período de avaliação, não foram registradas quaisquer ocorrências de dificuldades no acesso às informações fornecidas pelo aplicativo ou na interação com seus recursos. Segundo os participantes, a apresentação inicial antes do uso do aplicativo e a experiência durante as rotas de teste desempenharam um papel crucial na dissipação de eventuais dúvidas e na simplificação do uso durante as avaliações.

Em todas as rotas sugeridas, os voluntários conseguiram iniciar a execução a partir das informações recebidas do aplicativo e chegaram à região do destino buscado. Além disso, as necessidades de ajuda de terceiros foram pontuais e ocorreram em complemento a eventuais dúvidas ou problemas, conforme já descritos.

Alguns recursos do aplicativo foram destacados pelos voluntários, em função da importância da informação fornecida. Dentre eles:

- O atalho no botão de volume, para consultar as informações das coordenadas e da distância que deve ser percorrida. Em especial, a distância é relevante, pois é um parâmetro que os participantes utilizaram para confirmar que se aproximavam do destino. O acesso pelo atalho era fácil e rápido.
- O recurso de informações adicionais sobre os itens de acessibilidade identificados. Dois participantes mencionaram a importância desse recurso em ampliar o contexto das informações, especialmente quando se trata de informações presentes em placas (que não são acessíveis a eles). O participante que já estava familiarizado com a universidade, ressaltou que embora conhecesse alguns ambientes da UFMS-CG, muitas vezes ele não sabia quais outros ambientes estavam localizados nas proximidades. No caso da Faculdade de Computação, ele não estava familiarizado com a localização; porém, ao acessar as informações sobre os itens na região, afirmou reconhecer o ambiente situado ao lado.
- A função *bússola* auxiliava o usuário na interpretação das orientações que utilizavam os pontos cardeais como referência, fornecendo as informações em relação a coordenada cardinal na qual a pessoa estava posicionada. Se a pessoa tinha conhecimento de como utilizar uma bússola, ela poderia confirmar a direção a seguir utilizando apenas a informação de sua posição inicial, como ocorreu com um voluntário. O participante que já conhecia a universidade também destacou a utilidade da bússola, especialmente quando recebeu uma orientação que utilizava um ponto cardinal e ele não tinha certeza da direção a seguir.

Houveram registros de situações em que as orientações fornecidas pelo aplicativo foram essenciais no processo de auxílio ao deslocamento dos participantes. Por exemplo, na ocasião da passagem pela rotatória, quando as informações fornecidas orientavam a travessia por uma faixa elevada. Apesar das dificuldades relacionadas à estrutura física do local, as orientações foram precisas e todos os participantes conseguiram ajustar sua rota e seguir o caminho correto.

Outra situação deu-se quando um item de acessibilidade estava próximo a um ponto de mudança de direção. Os participantes se mostraram mais seguros, pois o item era uma referência e confirmava a sua posição atual. A percepção foi que os participantes

executaram a mudança de direção de forma mais natural, em contraste com as ocasiões sem um item de referência. Porém, esta não foi uma funcionalidade explicitamente desenvolvida, ou seja, o aplicativo não fazia nenhuma combinação proposital entre a coordenada e o item de referência. Ainda referente aos momentos de mudança de direção, observou-se que quanto melhor era a acurácia, maiores eram as facilidades do usuário, já que ao receber a notificação, ele estava próximo ao local. Do contrário, os usuários demonstraram mais dificuldades.

Por fim, a função de notificação de alerta foi útil para auxiliar os participantes em situações em que a mudança de direção era realizada incorretamente. Destaca-se a situação na qual alguns participantes passaram despercebidos pela entrada da faixa elevada na rotatória, sendo então notificados e orientados a retornar para encontrar a entrada correta.

6.4.2.6 Lista de ajustes e possíveis melhorias

As avaliações e contribuições dos voluntários desempenharam um papel fundamental no aprimoramento do aplicativo, resultando em uma lista de correções que foram incorporadas à versão final da TAI desenvolvida. A colaboração direta dos usuários permitiu a evolução do aplicativo, tornando-o mais eficaz e proporcionando uma experiência aprimorada aos usuários. Nesta seção, destacam-se as correções efetuadas e as possibilidades de melhorias futuras.

As correções incluíram:

- Notificação ao usuário quando a opção *bússola* não está acessível no *smartphone*.
- Inserção de dados com a opção *Ditado por Voz*.
- Notificação quando a rota é executada em direção incorreta: ajuste da sensibilidade.
- Modificação do áudio utilizado quando a rota é executada em direção incorreta.
- Notificação quando a acurácia da localização obtida pelo GPS está alta (valor acima de 20 metros), alertando o usuário sobre possíveis imprecisões.
- Notificação informando que a origem e/ou o destino da rota traçada podem exigir que corredores sejam percorridos e que esses espaços não são cobertos pelo aplicativo.

As sugestões de melhorias, que podem ser incorporadas em versões subsequentes do aplicativo, são:

- Para cada item de acessibilidade identificado, informar a sua localização no calçamento (à direita ou à esquerda).

- Estabelecer uma conexão entre as orientações da coordenada que a pessoa deve seguir e o item de acessibilidade mais próximo, fornecendo a partir desse item a distância para a execução da nova ação.
- Atualizar e informar a distância do usuário em relação ao ponto onde uma coordenada deve ser executada, de maneira semelhante ao que é feito com os itens de acessibilidade.
- Opção de notificação das distâncias utilizando o *tamanho do passo* como referência, com a possibilidade do usuário configurar o *tamanho do passo* para efeitos de conversão.
- Opção para consultar o ponto de ônibus mais próximo da localização atual do usuário, bem como a disponibilidade de sanitários, bebedouros e cantinas nas proximidades.
- Utilizar bases de dados públicas para fornecer informações adicionais sobre a localização do usuário, com a opção de escolha de locais de interesse, tais como bancos, restaurantes e edifícios públicos, semelhante ao que o Lazarillo App oferece.

Em última análise, identificaram-se oportunidades de mudanças com alterações mais substanciais na estrutura do aplicativo, incluindo:

- Utilização de um recurso que trace rotas considerando as calçadas e corredores, em substituição ao Google Maps.
- Mudança na estrutura de dados utilizada para manipular as coordenadas e itens monitorados, a fim de evitar o travamento das notificações.
- Atribuir um peso a cada tipo de item de acessibilidade monitorado, a fim de equilibrar o custo da rota, com base nos itens identificados. Com a opção do usuário especificar quais itens devem ser obrigatoriamente evitados na rota traçada.

7 DISCUSSÃO

O modelo HAAT (COOK; HUSSEY, 1995) é a referência para a discussão, permeando os fatos em uma estrutura conceitual que considera as características das pessoas, as atividades realizadas e o ambiente em que ocorrem, além das propriedades da TA. Com esta abordagem, buscou-se compreender de forma holística a experiência das PcDV durante a avaliação da TAI desenvolvida.

A estrutura deste capítulo consiste em quatro seções, organizadas de forma a melhor abordar os diferentes elementos que influenciaram a experiência das PcDV durante a avaliação do aplicativo. Essas seções estão intrinsecamente interligadas e influenciam-se mutuamente. Na seção 7.1, destacam-se as características individuais relacionadas aos voluntários da pesquisa. Na seção 7.2, abordam-se as características dos ambientes que impactaram nos resultados e as particularidades observadas na UFMS-CG. A seção 7.3 é dedicada à discussão sobre o aplicativo desenvolvido, explorando suas funcionalidades, limitações e o impacto na mobilidade e autonomia das PcDV. Por fim, na seção 7.4, comparam-se os registros e observações de duas etapas distintas da pesquisa: a etapa 2, na qual os voluntários visitaram a UFMS-CG sem o auxílio do aplicativo, e a etapa 4, na qual o aplicativo estava disponível para uso.

7.1 Singularidade das pessoas

Cada pessoa é única, sendo moldada por uma complexa interação entre sua concepção biológica e suas experiências sociais ao longo da vida, que desafiam qualquer tentativa de padronização. Embora seja possível agrupar indivíduos em categorias ou grupos com base em semelhanças biológicas, culturais ou sociais, cada um ainda mantém suas peculiaridades e nuances que o distinguem dos demais. A compreensão da singularidade de cada pessoa é fundamental para qualquer abordagem que busque entender a diversidade humana e suas necessidades individuais.

Desde a primeira fase do projeto, durante a seleção dos participantes, adotou-se uma abordagem que não impôs restrições com base na capacidade funcional das pessoas, utilizando exclusivamente o modelo médico (CID) como critério para a inclusão dos voluntários. Durante as experiências, observou-se que a habilidade em orientação e mobilidade, o nível de acuidade visual e a familiaridade com *smartphones* foram fatores que influenciaram a interação das pessoas com o ambiente. Dependendo das características individuais, tais eventos afetaram as pessoas de maneira variável em termos de intensidade.

Sob a perspectiva da orientação e mobilidade, especialmente no contexto das TA, não foi intenção desta pesquisa substituir ou eliminar o uso de outras TA já consolidadas

nas formações em orientação e mobilidade. Pelo contrário, o objetivo foi complementar e se alinhar com esses recursos e com as boas práticas cientificamente validadas, enriquecendo o conjunto de recursos disponíveis e explorando outras características que podem melhorar a experiência das PcDV em suas atividades diárias.

A participação ativa das PcDV desde a concepção da pesquisa teve como objetivo assegurar uma avaliação cuidadosa de suas realidades. Esse envolvimento integral e o profundo apreço pelo valor das contribuições de todos os envolvidos foram aspectos essenciais.

7.2 A relação das pessoas com deficiência visual com os ambientes

Quando uma pessoa está familiarizada com um local, ela utiliza elementos desse espaço como referência para se localizar e se locomover. Em qualquer situação, se há informações disponíveis sobre o ambiente, existe um recurso de auxílio às PcDV, seja para o mapeamento de uma região desconhecida ou para a consolidação do conhecimento prévio de um local. Todos os elementos do ambiente, tanto aqueles relacionados à estrutura urbanística quanto aqueles que oferecem estímulos multissensoriais, são potenciais pontos de referência para as PcDV.

O monitoramento dos elementos do ambiente, além de servir como referência para as PcDV, também facilita a antecipação de possíveis barreiras. As barreiras violam o direito das PcDV se locomoverem com autonomia e às expõem a situações de risco de acidente. Enquanto a sinalização incorreta de um ponto de ônibus apenas afeta a facilidade de utilização do serviço, a ausência de sinalização adequada em uma faixa de pedestres pode resultar em um incidente com sérias consequências.

No mapeamento realizado na UFMS-CG, as principais barreiras identificadas estão relacionados ao piso tátil, seja devido à sua ausência, desgaste ou falhas na sinalização. Embora tenham sido listadas poucas barreiras na região do setor 2 (que engloba ambientes como a Faculdade de Medicina, Faculdade de Odontologia, Farmácia Escola e Hospital Universitário), nesta região não há calçamento adequado nem piso tátil para a locomoção das pessoas, o que dificultou o acesso das PcDV. Cada ambiente possui suas próprias particularidades e esta pesquisa explorou apenas uma parte da UFMS-CG, o que significa que há a possibilidade da existência de outros elementos que sirvam como referência ou representam barreiras para as PcDV.

Quando as barreiras exigem intervenções no ambiente e não é possível realizá-las imediatamente, a TAI revelou-se promissora em minimizar as dificuldades e/ou riscos de acidentes para os usuários. Similarmente, em ambientes desconhecidos, quando a pessoa não têm conhecimento da direção a seguir para chegar a um destino, o aplicativo apresentou informações relevantes para auxiliar a pessoa no seu deslocamento.

Por fim, devido à dinamicidade dos ambientes, que podem ser alterados a qualquer momento, torna-se essencial desenvolver estratégias para o seu monitoramento contínuo. Isso não se aplica apenas a coleta de dados para alimentar os bancos de dados, mas também à implementação de um plano de manutenção contínuo desses espaços. Nesse contexto, é possível explorar recursos computacionais para permitir que a própria comunidade participe ativamente do monitoramento e mapeamento dos ambientes.

7.3 Possibilidades e desafios para auxiliar a locomoção das pessoas com deficiência visual

O aplicativo apresentado é uma **TA**, desenvolvida com a cooparticipação das **PcDV**, a partir dos requisitos obtidos no seu contexto de uso. Ele se diferencia das **TA** tradicionais por se adaptar às mudanças do ambiente e às preferências do usuário; logo, trata-se de uma **TAI**. As suas principais funcionalidades podem auxiliar as **PcDV** na locomoção por ambientes desconhecidos, por meio de notificações com as informações das coordenadas a serem executadas e com o monitoramento dos itens de acessibilidade identificados. Há ainda o potencial de uso em ambientes já conhecidos, como auxílio no monitoramento de barreiras e fonte de informação sobre o contexto dos ambientes.

Três aspectos do aplicativo se destacam: o algoritmo de otimização das rotas, as limitações do serviço utilizado para gerar as rotas para pedestres e o impacto da acurácia do **GPS** nas funcionalidades do aplicativo.

7.3.1 O algoritmo para otimização das rotas

Na era da inteligência artificial, o avanço tecnológico em direção a uma **TAI** de auxílio à locomoção das **PcDV** pode ir além da mera detecção de obstáculos ou elementos do ambiente. O algoritmo desenvolvido e incorporado no aplicativo possui a capacidade de antecipar, de forma proativa, o caminho mais adequado, levando em consideração as condições de acessibilidade e o perfil individual de cada usuário.

As avaliações do algoritmo demonstraram a capacidade do aplicativo em identificar rotas com maior acessibilidade quando existe uma base de dados com informações sobre os ambientes. Quanto mais detalhes existem sobre o ambiente, maiores são as possibilidades de otimização da rota.

No entanto, é importante realizar a avaliação de novas variáveis no cálculo do custo da rota, considerando a atribuição de pesos específicos a cada item monitorado, em vez de atribuir o mesmo valor a todos os elementos. Essa abordagem possibilita a flexibilidade de ignorar rotas com um determinado elemento ou dar preferência a rotas com um item específico. Além disso, é possível avaliar variáveis adicionais para calcular o custo, incluindo situações como a necessidade de atravessar uma rua ou o número de mudanças de direção existentes na rota. Essas variáveis são relevantes na determinação

da complexidade e adequação das rotas para diversas situações e necessidades.

7.3.2 Desafio para a geração de rotas para pedestres

O principal problema enfrentado para a geração das rotas foi decorrente do uso do Google Maps, que não considerava elementos essenciais para a locomoção das pessoas, como corredores, calçadas e outros elementos de apoio. O serviço ignorava detalhes cruciais no início e/ou fim da rota, como informações sobre movimentação pelas calçadas ou corredores de acesso aos locais. Esse cenário resultou na falta de orientações para desvios presentes no calçamento, travessias de rua e passagem por rotatórias, além de incluir áreas de estacionamento como parte das rotas, criando barreiras significativas para as PcDV.

Para superar as limitações do Google Maps, as rotas previamente percorridas foram ajustadas paliativamente para atender às necessidades das PcDV. Porém, essa abordagem não é considerada verdadeiramente *inteligente*, já que se limita aos espaços avaliados, excluindo áreas não abrangidas pelos estudos, mesmo dentro da UFMS-CG.

Uma alternativa para futuras versões do aplicativo é substituir o serviço por outro que considere as necessidades dos pedestres, especialmente no que diz respeito a calçadas e corredores, ao traçar as rotas. Isso proporcionará uma experiência mais acessível e inclusiva para todas as pessoas.

7.3.3 Acurácia do GPS e suas implicações no aplicativo

Embora os resultados da variação da acurácia média das localizações obtidas no aplicativo estejam em conformidade com os valores identificados na literatura (SANTANA *et al.*, 2019; TACHIQUIN *et al.*, 2021; U.S. SPACE FORCE, 2023), durante as visitas à UFMS-CG foram registradas ocorrências de baixa acurácia do GPS, que impactaram nas funcionalidades do aplicativo.

Embora tenha sido pouco comum, quando ocorreram, os usuários não receberam orientações adequadas ao contexto real. Essa discrepância, entre a posição real do usuário e a posição obtida pelo GPS, é resultado de variáveis não controladas do GPS, como problemas de *hardware* do *smartphone*, obstruções físicas (como edifícios altos e árvores densas, que podem bloquear ou interferir no sinal) e condições atmosféricas.

A versão final do aplicativo incorporou a funcionalidade de notificar o usuário sobre a baixa acurácia da localização obtida. Contudo, ainda há margem para novas investigações com o objetivo de avaliar as possíveis causas das variações e avaliar alternativas para mitigar o problema.

7.4 Experiências da visita à UFMS: antes e depois do aplicativo

Os dois momentos da pesquisa em que os voluntários visitaram a UFMS-CG tiveram uma diferença fundamental: a disponibilidade da TAI desenvolvida. A comparação entre as duas etapas não limitou-se a examinar o uso do aplicativo ou determinar se as pessoas alcançaram um destino específico. O objetivo foi avaliar qualitativamente o processo e os eventos que afetaram o contexto geral das visitas. A Tabela 15 apresenta uma síntese, comparando as principais características observadas nos dois momentos.

Tabela 15 – Comparação das principais características observadas nas atividades de campo nas etapas 2 e 4.

	Item	Etapa 2	Etapa 4
Recursos utilizados	Ajuda de terceiros	Sim	Sim, mas com menos frequência
	Bengala	Sim	Sim
	Piso tátil	Sim	Sim
	Piso de alerta	Ignorado	Utilizado como item de referência
Autonomia (Tinha informações sobre)	Qual direção seguir no início da rota	Não	Sim
	Quando chegava ao destino	Não	Sim, porém em localização aproximada
	Se estava na rota correta	Não	Sim
	Sua localização atual	Não	Sim
Rota	Informações prévias sobre os itens de acessibilidade	Não	Sim
	Orientações considerando suas preferências/particularidades	Não	Sim
	Sugestão de rota alternativa (desvio de barreiras)	Não	Sim
Ambiente	Acesso a regiões sem recursos de acessibilidade (Setor 2/FAMED)	Não	Não
	Dificuldades para travessia pela faixa	Sim	Sim
	Dificuldades na passagem pela rotatória	Sim	Não

No início da atividade em campo, na etapa 2, os participantes não tinham qualquer referência para iniciar a busca pelo destino, o que os levou a solicitar imediatamente auxílio de outras pessoas. Na etapa 4, com o aplicativo, as pessoas tinham autonomia para iniciar a execução do caminho até o destino e só recorreram ao auxílio de terceiros pontualmente, quando ocorreram outras condições adversas.

Durante a execução das rotas, a capacidade das pessoas de saber se estavam no caminho correto variou, assim como a capacidade de saber se já haviam chegado ao destino. Sem o aplicativo, os participantes dependiam do auxílio de terceiros. Com o uso do aplicativo, os itens de acessibilidade notificados serviram como referências, confirmando a execução parcial da rota, e ao se aproximarem do destino, uma notificação era fornecida.

O aspecto destacado é a autonomia que as pessoas tiveram para realizar as ações, sem depender do auxílio de outras pessoas. Para ilustrar essa questão, considere o cenário em que uma pessoa chega à universidade utilizando um ônibus e, ao desembarcar no ponto de ônibus, encontra um mapa da universidade com a identificação dos principais setores. Para uma pessoa vidente, esse mapa é uma referência útil para iniciar o processo de busca pelo destino, independentemente de qualquer outro recurso. No entanto, para uma PcDV, o acesso a esse recurso não é possível, tornando o aplicativo uma alternativa acessível.

Houve quatro situações de dificuldades enfrentadas pelos voluntários nas visitas à UFMS-CG, que são destacadas:

1. **Passagem por uma rotatória:** na etapa 2, todos os participantes demonstraram dificuldades em passar pelo local, devido à complexidade em entender a sua estrutura e interpretar as orientações recebidas de terceiros. Na etapa 4, todos os voluntários conseguiram atravessá-la com autonomia, utilizando apenas as orientações recebidas do aplicativo.
2. **Identificação do piso tátil de alerta:** sem o uso do aplicativo, os voluntários não perceberam a presença desse item. No entanto, ao utilizar o aplicativo, os participantes relataram maior relevância e atenção à presença do item, pois ele estava incluído na lista de elementos notificados pelo aplicativo. Além disso, foram observadas mudanças significativas nas condições do piso tátil de alerta instalado em toda a universidade, principalmente devido às obras realizadas para a instalação e correção do piso tátil existente.
3. **Travessia pela faixa de pedestre elevada:** a dificuldade na travessia foi recorrente em ambas as etapas. Ao utilizar o aplicativo, os voluntários conseguiram identificar a faixa, porém enfrentaram dificuldades ao realizar a travessia, devido às particularidades do local e à ausência de informações complementares na notificação fornecida pelo aplicativo.
4. **Acesso à região da Faculdade de Medicina:** a dificuldade de acesso à região, que inclui todos os ambientes localizados no setor 2, não apresentou diferença nos resultados obtidos nas duas etapas. Mesmo com as orientações fornecidas pelo aplicativo e informações complementares de terceiros, os voluntários não conseguiram chegar ao destino. Isso ocorreu por se tratar de um ambiente amplo e carente de elementos de referência para PcDV. Dessa forma, as orientações do aplicativo se mostraram irrelevantes e descontextualizadas. Esse fato destaca a importância dos espaços atenderem às condições adequadas de acessibilidade, o que promove um melhor aproveitamento dos elementos disponíveis e a sua relevância para as PcDV, com base na sua utilidade no cotidiano.

8 CONCLUSÕES

No decorrer da pesquisa, explorou-se o processo de desenvolvimento de uma **TA** em uma abordagem que considera de forma integral a pessoa, os ambientes, a ação realizada e o contexto de utilização do recurso. Nesse sentido, é crucial que os avanços estejam em consonância com o contexto das **PcD**, a fim de efetivar os direitos já garantidos por lei, permitindo-lhes exercer sua cidadania com autonomia.

A participação ativa das **PcDV** na pesquisa desempenhou um papel fundamental na identificação de um problema significativo: a falta de autonomia delas em ambientes desconhecidos, frequentemente resultando em sua dependência de outras pessoas. A partir dessa participação e da observação direta das condições durante o acesso a ambientes desconhecidos, identificaram-se os requisitos para o desenvolvimento de uma **TAI** na forma de um aplicativo.

A **TAI** calcula o custo da rota, com base em dados coletados dos ambientes, e sugere a rota com as melhores condições de acessibilidade para apoiar a locomoção da **PcDV**, levando em consideração as suas particularidades. Para a execução da rota, a pessoa recebe as informações das direções a seguir e dos itens de acessibilidade identificados na rota.

Na avaliação com as **PcDV**, o aplicativo demonstrou ser capaz de fornecer orientações que possibilitam à pessoa buscar seu destino com autonomia. Ele funcionou corretamente, fornecendo as instruções de direção a seguir e informações sobre os itens monitorados ao longo das rotas.

Algumas implementações do aplicativo foram personalizadas para atender aos ambientes específicos da **UFMS-CG**. Sendo assim, é necessário ressaltar que essas personalizações não são diretamente aplicáveis a outros ambientes, o que representa uma limitação significativa.

Outra limitação está relacionada ao uso do **GPS**, que pode variar dependendo das características do *smartphone* utilizado. Essa variação pode resultar em uma experiência inadequada para o usuário, sendo que em alguns casos, não será possível explorar todos os recursos do aplicativo da melhor maneira possível.

Apesar das limitações, o aplicativo se configura como uma **TAI** que atende às premissas de adaptação dinâmica às necessidades individuais das pessoas e às diversas condições dos ambientes. No entanto, para uma efetiva distribuição do aplicativo à comunidade, é crucial avaliar seu desempenho em diferentes contextos e implementar os ajustes necessários, incluindo aqueles que foram apresentados nesta tese.

8.1 Trabalhos futuros

A pesquisa contribui para a área de **TA**, destacando a potencialidade e a importância do desenvolvimento de **TAI** mais avançadas e personalizadas, destinadas a atender às necessidades específicas das **PcDV**. Além de possibilitar a criação de aplicativos específicos para diversos contextos na área da saúde, a abordagem desta pesquisa destaca a importância do trabalho multidisciplinar, envolvendo profissionais de saúde, engenheiros, cientistas da computação e as próprias **PcDV**.

Dada as restrições dos ambientes avaliados nesta pesquisa, que se limitou a uma área específica da **UFMS-CG**, surgem duas possibilidades de sequência: a avaliação do aplicativo em outros locais dentro da própria **UFMS-CG** e a avaliação em ambientes externos à universidade. Essas investigações podem servir para confirmar as ocorrências registradas, especialmente no que diz respeito às barreiras enfrentadas pelas **PcDV** durante a locomoção e às restrições observadas nas informações fornecidas pelo aplicativo para orientar o usuário ao longo da rota.

Dentro do contexto das informações fornecidas para orientar a rota, e considerando as limitações do recurso utilizado na geração das rotas, existe a oportunidade de conduzir estudos em busca de recursos que gerem as rotas considerando elementos específicos para os pedestres.

No que diz respeito às tecnologias empregadas, duas linhas de investigação adicionais se destacam. A primeira diz respeito à evolução do algoritmo utilizado no cálculo do custo da rota. Essa evolução poderia incluir outras variáveis, visando equilibrar o custo da rota com base nas particularidades de cada item identificado e na relevância desses itens para o usuário. Isso seria uma melhoria em relação à atual classificação que considera apenas a presença ou ausência do item, permitindo evitar alguns e priorizar outros. A segunda envolve a avaliação do **GPS** como recurso para monitorar a posição do usuário. Nesse aspecto, há espaço para investigações que busquem alternativas ao recurso ou soluções que, por meio de *software*, possam aprimorar as condições proporcionadas pelo dispositivo do usuário.

Dado o enfoque qualitativo adotado na abordagem do processo de desenvolvimento, que não levou em conta as diferenças entre os participantes e as condições observadas durante o uso do aplicativo, é pertinente realizar estudos que avaliem as variações nas experiências. Essas variações podem ser analisadas considerando a diferença na acuidade visual e na experiência em orientação e mobilidade dos voluntários e podem incluir a avaliação clínica do impacto das **TAI** na qualidade de vida, independência e bem-estar das **PcDV**.

No âmbito da avaliação das variações nas experiências, também é relevante considerar a utilização otimizada do aplicativo, analisando a relação entre as ocorrências e os

detalhes da configuração do perfil do usuário. É importante notar que, neste estudo, todos os voluntários utilizaram a configuração padrão do aplicativo, sem realizar quaisquer modificações nas configurações.

Não menos importante são as investigações voltadas para o desenvolvimento de recursos que possam monitorar os ambientes, especialmente com o objetivo de automatizar o processo de coleta de informações ambientais. Isso facilitaria a atualização dos dados de forma rápida, fornecendo suporte à TAI desenvolvida e oferecendo indicadores valiosos para os gestores públicos, auxiliando em suas tomadas de decisão. Ainda nesta linha, existe a oportunidade de expandir o monitoramento dos ambientes por meio da aplicação do conceito de redes sociais colaborativas. Isso permitiria que a própria comunidade contribuísse com dados sobre as condições dos ambientes, enriquecendo as bases de dados.

REFERÊNCIAS

ABATE, T. P.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Avaliação de pisos táteis como elemento de wayfinding em escola de ensino especial para crianças com deficiência visual. *Ambiente Construído*, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v. 17, n. 2, p. 53–71, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000200146>>.

AFONSO, M. J. *Paradigmas Diferencial e Sistémico de Investigação da Inteligência Humana: Perspectivas sobre o lugar e o sentido do construto*. Tese (Doutorado) — Universidade de Lisboa - Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação, Lisboa, 2007.

AHMED, F.; MAHMUD, M. S.; YEASIN, M. Rnn and cnn for way-finding and obstacle avoidance for visually impaired. In: *2019 2nd International Conference on Data Intelligence and Security (ICDIS)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 225–228.

AHMETOVIC, D.; GLEASON, C.; RUAN, C.; KITANI, K.; TAKAGI, H.; ASAKAWA, C. Navcog: A navigational cognitive assistant for the blind. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. (MobileHCI '16), p. 90–99. ISBN 9781450344081. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2935334.2935361>>.

ANJOS, H. P. Inclusão da pessoa com deficiência no ensino superior: Primeiras aproximações. In: MIRANDA, T. G.; GALVÃO FILHO, T. A. (Org.). *O professor e a educação inclusiva: formação, práticas e lugares*. Salvador: EDUFBA, 2012. p. 367–384.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16357: Acessibilidade - sinalização tátil no piso - diretrizes para elaboração de projetos e instalação*. Rio de Janeiro, 2016. 44 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. Rio de Janeiro, 2020. 147 p.

BAI, J.; LIAN, S.; LIU, Z.; WANG, K.; LIU, D. Virtual-blind-road following-based wearable navigation device for blind people. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, v. 64, n. 1, p. 136–143, 2018.

BALATA, J.; MIKOVEC, Z.; SLAVIK, P. Landmark-enhanced route itineraries for navigation of blind pedestrians in urban environment. *Journal on Multimodal User Interfaces*, v. 12, n. 3, p. 181–198, Sep 2018. ISSN 1783-8738. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12193-018-0263-5>>.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Cartilha de Cidades*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/db27849e-dd37-4fbd-9046-6fda14b53ad0/produto-13-cartilha-das-cidades-publicada.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m7tz8bf>>. Acesso em: 27 jul. 2022.

- BAO, S.; NITTA, T.; YANAGISAWA, M.; TOGAWA, N. A safe and comprehensive route finding algorithm for pedestrians based on lighting and landmark conditions. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E100.A, n. 11, p. 2439–2450, 2017.
- BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BAUER, C. M.; HIRSCH, G. V.; ZAJAC, L.; KOO, B.-B.; COLLIGNON, O.; MERABET, L. B. Multimodal mr-imaging reveals large-scale structural and functional connectivity changes in profound early blindness. *PLOS ONE*, Public Library of Science, v. 12, n. 3, p. 1–26, 03 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173064>>.
- BENABIDVWW, A.; ALZUHAIR, M. User involvement in the development of indoor navigation system for the visually impaired: A needs-finding study. In: *2014 3rd International Conference on User Science and Engineering (i-USEr)*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 97–102.
- BENYON, D. *Interação humano-computador*. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- BERNARDES, L. C. G.; MAIOR, I. M. M. L.; SPEZIA, C. H.; ARAUJO, T. C. C. F. Pessoas com deficiência e políticas de saúde no brasil: reflexões bioéticas. *Ciência & Saúde Coletiva*, scielo, v. 14, p. 31 – 38, 02 2009. ISSN 1413-8123. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232009000100008&nrm=iso>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- BERSCH, R. *Introdução à Tecnologia Assistiva*. Porto Alegre: ASSISTIVA, 2017.
- BHARUCHA, A. J.; ANAND, V.; FORLIZZI, J.; DEW, M. A.; III, C. F. R.; STEVENS, S.; WACTLAR, H. Intelligent assistive technology applications to dementia care: Current capabilities, limitations, and future challenges. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, Elsevier, v. 17, n. 2, p. 88–104, Feb 2009. ISSN 1064-7481. Disponível em: <<https://doi.org/10.1097/JGP.0b013e318187dde5>>.
- BONFIM, S. M. *Legislação sobre pessoa com deficiência*. 8. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, 2018. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/36841/legislacao_pessoa.pdf?sequence=1>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- BOTTEGA, G. H. M.; BALBINOT, A. Proposal of an obstacle detector with sound response for the visually impaired. *Health and Technology*, v. 10, n. 3, p. 739–757, May 2020. ISSN 2190-7196. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12553-019-00401-9>>.
- BOUSBIA-SALAH, M.; FEZARI, M.; HAMDY, R. A navigation system for blind pedestrians. *IFAC Proceedings Volumes*, v. 38, n. 1, p. 1–5, 2005. ISSN 1474-6670. 16th IFAC World Congress. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016374146>>.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. *Diário Oficial da União*, Brasília, n. 191-A, 05 out. 1988. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº. 7.853, de 24 de outubro de 1989. dispõe sobre o apoio às pessoas portadoras de deficiência, sua integração social, sobre a Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência - CORDE, institui a tutela jurisdicional de interesses coletivos ou difusos dessas pessoas, disciplina a atuação do Ministério Público, define crimes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União* — Presidência da República, Brasília, 25 out. 1989. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº. 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. *Diário Oficial da União* — Presidência da República, Brasília, 20 dez. 2000. Seção 1, p. 2.

BRASIL. Decreto nº. 5.296, de 2 de dezembro de 2004. regulamenta as leis nº 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. *Diário Oficial da União* — Presidência da República, Brasília, 03 dez. 2004. Seção 1, p. 5.

BRASIL. Decreto nº 6.949, de 25 de agosto de 2009. Promulga a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e seu Protocolo Facultativo, assinados em Nova York, em 30 de março de 2007. *Diário Oficial da União* — Presidência da República, Brasília, n. 163, 26 ago. 2009. Seção 1, p. 3.

BRASIL. Lei nº 12.711, de 29 de agosto de 2012. dispõe sobre o ingresso nas universidades federais e nas instituições federais de ensino técnico de nível médio e dá outras providências. *Diário Oficial da União* — Presidência da República, Brasília, 30 ago. 2012. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº. 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). *Diário Oficial da União* — Presidência da República, Brasília, n. 127, 07 jul. 2015. Seção 1, p. 2.

BRASIL. Lei nº 13.409, de 28 de dezembro de 2016. Altera a Lei nº 12.711, de 29 de agosto de 2012, para dispor sobre a reserva de vagas para pessoas com deficiência nos cursos técnico de nível médio e superior das instituições federais de ensino. *Diário Oficial da União* — Presidência da República, Brasília, n. 250, 29 dez. 2016. Seção 1, p. 3.

BRASIL. Decreto nº. 10.645, de 11 de março de 2021. regulamenta o art. 75 da lei nº 13.146, de 6 julho de 2015, para dispor sobre as diretrizes, os objetivos e os eixos do plano nacional de tecnologia assistiva. *Diário Oficial da União* — Presidência da República, Brasília, n. 48, 11 mar. 2021. Seção 1, p. 3.

BRASIL. Lei nº. 14.126, de 22 de março de 2021. Classifica a visão monocular como deficiência sensorial, do tipo visual. *Diário Oficial da União* — Presidência da República, Brasília, n. 55, 23 mar. 2021. Seção 1, p. 3.

CARVALHO, M. E. L.; LIMA, T. N. B.; SOUZA, J. L. M.; FALCÃO, T. M. L.; TAURINO, I. J. M.; TERCENCI, A. P.; FERREIRA, I. L. A.; FERNANDES, D. L.; LUCENA, M. S.; CABRAL, J. L.; SANTOS, F. B.; FERREIRA, D. R. A. A acessibilidade nos serviços de saúde sob a perspectiva da pessoa com deficiência, Recife - PE. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, v. 12, n. 1, p. 1–9, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.25248/reas.e1767.2020>>. Acesso em: 16 jun. 2022.

- CASTRO, S. F. *Ingresso e Permanência de Alunos com Deficiência em Universidades Públicas Brasileiras*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
- CHURCH, R. L.; MARSTON, J. R. Measuring accessibility for people with a disability. *Geographical Analysis*, v. 35, n. 1, p. 83–96, 2003. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1538-4632.2003.tb01102.x>>.
- CONNELL, B. R.; JONES, M.; MACE, R.; MUELLER, J.; MULLICK, A.; OSTROFF, E.; SANFORD, J.; STEINFELD, E.; STORY, M.; VANDERHEIDEN, G. *The Principles of Universal Design*. 1997. Disponível em: <https://projects.ncsu.edu/ncsu/design/cud/about_ud/udprinciplestext.htm#top>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- COOK, A. M.; HUSSEY, S. *Assistive Technologies: Principles and Practice*. St. Louis: MOSBY, 1995.
- COOK, A. M.; POLGAR, J. M. *Assistive Technologies: Principles and Practice*. 4. ed. St. Louis: MOSBY, 2015.
- COSTA, J. A. *Acesso do Estudante com Deficiência Visual ao Currículo nas Universidades na Perspectiva da Escola Justa*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2021.
- COSTA, M. T. A. *Tecnologia assistiva: uma prática para a promoção dos direitos humanos*. Curitiba: Intersaberes, 2020.
- DE BLASI, B. G. *Governo de SP testa pedágio com cobrança automática por km rodado*. 2022. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/noticias/2022/04/12/governo-de-sp-testa-pedagio-com-cobranca-automatica-por-km-rodado/>>. Acesso em: 27 jul. 2022.
- DINIZ, E. P. S.; SILVA, A. M. Perspectivas de estudantes com deficiências sobre facilitadores e barreiras nas universidades públicas de Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Educação Especial [online]*, v. 27, p. 461–476, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1980-54702021v27e0092>>. Acesso em: 16 jun. 2022.
- DOMÍNGUEZ, J. M. L.; SANGUINO, T. J. M. Walking secure: Safe routing planning algorithm and pedestrian’s crossing intention detector based on fuzzy logic app. *Sensors*, v. 21, n. 2, 2021. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/2/529>>.
- DOUGHTY, K. *Smart Assistive Technology for People with Vision Impairment*. 2016. Disponível em: <<http://icuhtec.org/wp-content/uploads/2016/05/Article-of-the-Month-August-2016-Large-print.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- DU TOIT, R.; KEEFFE, J.; JACKSON, J.; BELL, D.; MINTO, H.; HOARE, P. A global public health perspective: Facilitating access to assistive technology. *Optometry and Vision Science*, v. 95, n. 9, 2018. ISSN 1538-9235. Disponível em: <https://journals.lww.com/optvissci/Fulltext/2018/09000/A_Global_Public_Health_Perspective__Facilitating.24.aspx>.
- ELMANNAI, W.; ELLEITHY, K. Sensor-based assistive devices for visually-impaired people: Current status, challenges, and future directions. *Sensors*, v. 17, n. 3, 2017. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/17/3/565>>.

- ELMANNAI, W. M.; ELLEITHY, K. M. A highly accurate and reliable data fusion framework for guiding the visually impaired. *IEEE Access*, v. 6, p. 33029–33054, 2018.
- EXPO. *Expo*. 2022. Disponível em: <<https://expo.dev/>>. Acesso em: 14 jun. 2022.
- FACEBOOK OPEN SOURCE. *React Native - learn once, write anywhere*. 2022. Disponível em: <<https://reactnative.dev/>>. Acesso em: 14 jun. 2022.
- FELIPPE, J. A. M. *Caminhando juntos: manual das habilidades básicas de orientação e mobilidade*. São Paulo: Conselho Brasileiro de Oftalmologia, Laramara, 2018.
- FERNANDES, A. P. C. S.; DENARI, F. E. Pessoa com deficiência: estigma e identidade. *Revista da FAEBA - Educação e Contemporaneidade*, v. 26, n. 50, p. 77–89, dez. 2017. Disponível em: <<https://www.revistas.uneb.br/index.php/faeeba/article/view/4263>>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- FIGUEIREDO, A. R. P.; VASCONCELOS, G. C.; FERNANDES, L. C.; ARAÚJO, M. R. N.; BONOLO, P. F. *Uso terapêutico de tecnologias assistivas: direitos das pessoas com deficiência e visão*. Belo Horizonte: Nescon, 2015. Disponível em: <<https://www.nescon.medicina.ufmg.br/biblioteca/imagem/4771.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- FRANÇOSO, M. T.; MELLO, N. C. Influência dos aplicativos de smartphones para transporte urbano no transito. In: *Anais do 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável*. Maceió: Viva Editora, 2016. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/67437/1/3159-2422-ANAIS%20PLURIS%202016.pdf>>.
- FUKUHARA, A. C.; MARCIANO, A. C.; OPPI, J.; COSTA, A. B.; ALMEIDA, M. A.; ORLANDO, R. M. Vantagens e desvantagens na mobilidade da pessoa cega com cão-guia. *Benjamin Constant*, v. 2, n. 57, p. 138–154, jul. 2014. Disponível em: <<http://revista.abc.gov.br/index.php/BC/article/view/364>>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- FUSCO, G.; SHEN, H.; COUGHLAN, J. M. Self-localization at street intersections. In: *2014 Canadian Conference on Computer and Robot Vision*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 40–47.
- GARCIA, R. A. B.; BACARIN, A. P. S.; LEONARDO, N. S. T. Acessibilidade e permanência na educação superior: percepção de estudantes com deficiência. *Psicologia Escolar e Educacional [online]*, v. 22, p. 33–40, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2175-3539/2018/035>>. Acesso em: 16 jun. 2022.
- GARCÍA, J. C. D. *Livro Branco da Tecnologia Assistiva no Brasil*. São Paulo: ITS BRASIL, 2017. Disponível em: <<http://itsbrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/12/Livro-Branco-Tecnologia-Assistiva.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2021.
- GARCÍA, J. C. D.; GALVÃO FILHO, T. A. *Pesquisa Nacional de Tecnologia assistiva*. São Paulo: ITS BRASIL, 2012. Disponível em: <<https://www2.ufjf.br/nai/files/2009/07/miopesqnacional-grafica-1.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2021.
- GARDNER, H. *Inteligências Múltiplas: a Teoria na Prática*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.

- GIUDICE, N. A.; WHALEN, W. E.; RIEHLE, T. H.; ANDERSON, S. M.; DOORE, S. A. Evaluation of an accessible, real-time, and infrastructure-free indoor navigation system by users who are blind in the mall of america. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, v. 113, n. 2, p. 140–155, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0145482X19840918>>.
- GOLLEDGE, R. G. Human wayfinding. In: _____. *Applied Geography: A World Perspective*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2004. p. 233–252. ISBN 978-1-4020-2442-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2442-9_13>.
- GOOGLE. *APIs do Cloud*. 2022. Disponível em: <<https://cloud.google.com/>>. Acesso em: 14 jun. 2022.
- GOOGLE. *Plataforma Google Maps*. 2022. Disponível em: <<https://mapsplatform.google.com/>>. Acesso em: 14 jun. 2022.
- GUERRERO, E.; LU, M.-H.; YUEH, H.-P.; LINDGREN, H. Designing and evaluating an intelligent augmented reality system for assisting older adults' medication management. *Cognitive Systems Research*, v. 58, p. 278–291, 2019. ISSN 1389-0417. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138904171830322X>>.
- HAYERBEKE, M. *Eloquent JavaScript*. 3. ed. [S.l.]: No Starch Press, 2018.
- HERSH, M. A.; RAMÍREZ, A. R. G. Evaluation of the electronic long cane: improving mobility in urban environments. *Behaviour & Information Technology*, Taylor Francis, v. 37, n. 12, p. 1203–1223, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/0144929X.2018.1490454>>.
- HEWETT, T. T.; BAECKER, R.; CARD, S.; CAREY, T.; GASEN, J.; MANTEI, M.; PERLMAN, G.; STRONG, G.; VERPLANK, W. *ACM SIGCHI Curricula for Human-Computer Interaction*. New York, NY, USA, 1992.
- HUANG, C.-Y.; WU, C.-K.; LIU, P.-Y. Assistive technology in smart cities: A case of street crossing for the visually-impaired. *Technology in Society*, v. 68, p. 101805, 2022. ISSN 0160-791X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X21002803>>.
- IENCA, M.; FABRICE, J.; ELGER, B.; CAON, M.; PAPPAGALLO, A. S.; KRESSIG, R. W.; WANGMO, T. Intelligent assistive technology for alzheimer's disease and other dementias: A systematic review. *Journal of Alzheimer's Disease*, IOS Press, v. 56, p. 1301–1340, 2017. ISSN 1875-8908. 4. Disponível em: <<https://doi.org/10.3233/JAD-161037>>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 2010: características gerais da população, religião e pessoas com deficiência*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2010: nota técnica 01/2018. releitura dos dados de pessoas com deficiência no Censo Demográfico 2010 à luz das recomendações do Grupo de Washington. 31 jul. 2018. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/metodologia/notas_tecnicas/nota_tecnica_2018_01_censo2010.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2021.

- INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. *Sinopse Estatística da Educação Básica 2020*. Brasília, 2020. Disponível em: <https://download.inep.gov.br/dados_abertos/sinopses_estatisticas/sinopses_estatisticas_censo_escolar_2020.zip>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. *Sinopse Estatística da Educação Superior 2020*. Brasília, 2020. Disponível em: <https://download.inep.gov.br/informacoes_estatisticas/sinopses_estatisticas/sinopses_educacao_superior/sinopse_educacao_superior_2020.zip>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- JOÃO, B. do N. *Usabilidade e interface homem-máquina*. São Paulo: Pearson Education, 2017.
- KALLARA, S. B.; RAJ, M.; RAJU, R.; MATHEW, N. J.; PADMAPRABHA, V. R.; DIVYA, D. S. Indriya — a smart guidance system for the visually impaired. In: *2017 International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 26–29.
- KAMMOUN, S.; DRAMAS, F.; ORIOLAAND, B.; JOUFFRAIS, C. Route selection algorithm for blind pedestrian. In: *ICCAS 2010*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 2223–2228.
- KANDALAN, R. N.; NAMUDURI, K. Techniques for constructing indoor navigation systems for the visually impaired: A review. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, v. 50, n. 6, p. 492–506, 2020.
- KANNA, S. B.; KUMAR, T. R. G.; NIRANJAN, C.; PRASHANTH, S.; GINI, J. R.; HARIKUMAR, M. Low cost smart navigation system for the blind. In: *2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*. [S.l.: s.n.], 2021. v. 1, p. 466–471.
- KARIMI, H. A. Wayfinding and navigation services for people with disabilities. In: _____. *Encyclopedia of GIS*. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 1–10. ISBN 978-3-319-23519-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6_1621-1>.
- KARIMI, H. A.; DIAS, M. B.; PEARLMAN, J.; ZIMMERMAN, G. J. Wayfinding and navigation for people with disabilities using social navigation networks. *EAI Endorsed Transactions on Collaborative Computing, ICST*, v. 1, n. 2, 10 2014.
- KIM, Y.; HARDERS, M.; GASSERT, R. Identification of vibrotactile patterns encoding obstacle distance information. *IEEE Transactions on Haptics*, v. 8, n. 3, p. 298–305, 2015.
- KLEINA, C. *Tecnologia assistiva em educação especial e educação inclusiva*. Curitiba: Intersaberes, 2012.
- KO, E.; KIM, E. Y. A vision-based wayfinding system for visually impaired people using situation awareness and activity-based instructions. *Sensors*, v. 17, n. 8, 2017. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/17/8/1882>>.
- KOBIE, N. *Why Google Maps and Citymapper are terrible for walking directions: Want to get from a to b on foot? the quickest way is rarely the best way – but try telling that to your trusty navigator*. 2019. Disponível em: <<https://>>

[//www.wired.co.uk/article/walking-directions-air-pollution-google-maps](http://www.wired.co.uk/article/walking-directions-air-pollution-google-maps)>. Acesso em: 16 ago. 2023.

KOUSTRIAVA, E.; PAPADOPOULOS, K. Are there relationships among different spatial skills of individuals with blindness? *Research in Developmental Disabilities*, v. 33, n. 6, p. 2164–2176, Nov 2012. ISSN 0891-4222. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891422212001576>>.

KWAN, C. L.; MAHDID, Y.; OCHOA, R. M.; LEE, K.; PARK, M.; BLAIN-MORAES, S. Wearable technology for detecting significant moments in individuals with dementia. *BioMed Research International*, Hindawi, v. 2019, p. 6515813, Sep 2019. ISSN 2314-6133. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2019/6515813>>.

LEMOS, E. R.; CERQUEIRA, J. B. O sistema braille no brasil. *Benjamin Constant*, mar. 2017. Disponível em: <<http://revista.abc.gov.br/index.php/BC/article/view/353>>. Acesso em: 21 ago. 2021.

LISBOA, A. *Google Maps trará ruas mais detalhadas para pedestres e navegação em tempo real*. 2021. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/google-io/google-maps-trara-ruas-mais-detalhadas-para-pedestres-e-navegacao-em-tempo-real-185245/>>. Acesso em: 27 jul. 2022.

LORA, T. D. P. Descobrimo o real papel das outras percepções, além da visão, para a orientação e mobilidade. In: MOTA, M. G. B. (Org.). *orientação e Mobilidade: Conhecimentos básicos para a inclusão do deficiente visual*. Brasília: MEC: SEESP, 2003. p. 56–85.

LÔBO, M. M. B. *Lei Brasileira de Inclusão: análise da construção da lei brasileira de inclusão da pessoa com deficiência - lei nº 13.146, de 2015*. Monografia (TCC Graduação) — Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. 68 f.

MAEDA, Y.; MIYAJI, T.; MIYAKAWA, M. Evaluation of the preset travel routes in a self-determination support system. In: *2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 5920–5923.

MARSTON, J. R. *Towards an Accessible City: Empirical Measurement and Modeling of Access to Urban Opportunities for those with Vision Impairments, Using Remote Infrared Audible Signage*. Tese (Doutorado) — University of California, Santa Barbara, 2002.

MICHAELIS. *Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa*. 2022. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/>>. Acesso em: 02 ago. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº. 3.128, de 24 de dezembro de 2008. Define que as Redes Estaduais de Atenção à Pessoa com Deficiência Visual sejam compostas por ações na atenção básica e Serviços de Reabilitação Visual. Gabinete do Ministro, Brasília, 2008. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2008/prt3128_24_12_2008.html>. Acesso em: 26 mar. 2021.

MITRASINOVIC, M. Universal design. In: _____. *Design Dictionary: Perspectives on Design Terminology*. Basel: Birkhäuser Basel, 2008. p. 419–422. ISBN 978-3-7643-8140-0. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8140-0_290>.

- MUHEIDAT, F.; TAWALBEH, L. A. In-home floor based sensor system-smart carpet-to facilitate healthy aging in place (aip). *IEEE Access*, v. 8, p. 178627–178638, 2020.
- NATIONAL COUNCIL ON DISABILITY. *Study of the Financing of Assistive Technology Devices and Services for Individuals with Disabilities*. Washington, 1993. Disponível em: <<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED355696.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2022.
- NAWAZ, W.; KHAN, K. U.; BASHIR, K. A review on path selection and navigation approaches towards an assisted mobility of visually impaired people. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, v. 14, n. 8, p. 3270–3294, August 2020.
- NUNES, E. L. V.; DANDOLINI, G. A.; SOUZA, J. A. As tecnologias assistivas e a pessoa cega. *Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia*, v. 9, n. 2, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufpb.br/index.php/pbcib/article/view/22376>>. Acesso em: 23 ago. 2021.
- OHN-BAR, E.; GUERREIRO, J.; AHMETOVIC, D.; KITANI, K. M.; ASAKAWA, C. Modeling expertise in assistive navigation interfaces for blind people. In: *23rd International Conference on Intelligent User Interfaces*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. (IUI '18), p. 403–407. ISBN 9781450349451. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3172944.3173008>>.
- OPENJS FOUNDATION. *Node.js*. 2022. Disponível em: <<https://nodejs.org/en/>>. Acesso em: 14 jun. 2022.
- PAREDES, H.; FERNANDES, H.; MARTINS, P.; BARROSO, J. Gathering the users' needs in the development of assistive technology: A blind navigation system use case. In: STEPHANIDIS, C.; ANTONA, M. (Ed.). *Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services for Quality of Life*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 79–88. ISBN 978-3-642-39194-1. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39194-1_10>.
- PARKER, A. T.; SWOBODZINSKI, M.; WRIGHT, J. D.; HANSEN, K.; MORTON, B.; SCHALLER, E. Wayfinding tools for people with visual impairments in real-world settings: A literature review of recent studies. *Frontiers in Education*, v. 6, 2021. ISSN 2504-284X. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/educ.2021.723816>>.
- PASSINI, R. Spatial representations, a wayfinding perspective. *Journal of Environmental Psychology*, v. 4, n. 2, p. 153–164, 1984. ISSN 0272-4944. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272494484800316>>.
- PEREIRA, D. G. *A aplicabilidade do Design Inclusivo em projetos de Design*. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- PIMENTEL, S. C. *Estudantes com deficiência no Ensino Superior: construindo caminhos para desconstrução de barreiras na UFRB*. Cruz das Almas: UFRB, 2013. Disponível em: <<https://www.ufrb.edu.br/nupi/images/documentos/Estudantes%20com%20deficiencia%20no%20Ensino%20Superior%20construindo%20caminhos%20para%20in.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2021.

- PINTANEL, A. C.; GOMES, G. C.; XAVIER, D. M. Mães de crianças com deficiência visual: dificuldades e facilidades enfrentadas no cuidado. *Revista Gaúcha de Enfermagem*, scielo, v. 34, p. 86 – 92, 06 2013. ISSN 1983-1447. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-14472013000200011&nrm=iso>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- PONCHILLIA, P. E.; RAK, E. C.; FREELAND, A. L.; LAGROW, S. J. Accessible GPS: Reorientation and target location among users with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, v. 101, n. 7, p. 389–401, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0145482X0710100702>>.
- PREECE, J.; ROGERS, Y.; BENYON, D.; CAREY, T.; HOLLAND, S.; SHARP, H. *Human-Computer Interaction*. Reading: Addison-Wesley, 1994.
- REIS, S. V. *Painel braille interativo*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, 2013.
- RIBAS, J. *Preconceito contra as pessoas com deficiência: as relações que travamos com o mundo*. São Paulo: Cortez, 2017.
- RODRIGUEZ-SANCHEZ, M.; MARTINEZ-ROMO, J. Gawa – manager for accessibility wayfinding apps. *International Journal of Information Management*, v. 37, n. 6, p. 505–519, 2017. ISSN 0268-4012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026840121630812X>>.
- ROMIC, K.; GALIC, I.; LEVENTIC, H.; NENADIC, K. Real-time multiresolution crosswalk detection with walk light recognition for the blind. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, v. 18, n. 1, p. 11–20, 2018.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. *Inteligência Artificial*. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- RUSSO, M. Localização cerebral da cognição social complexa: o autismo como modelo? *Filosofia e História da Biologia*., v. 3, p. 285–304, 2008. Disponível em: <<http://www.abfhib.org/FHB/FHB-03/FHB-v03-15-Marisa-Russo.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2022.
- RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. [S.l.], 2015. Disponível em: <https://image-src.bcg.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm9-61694.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2022.
- SACOMANO, J. B.; SÁTYRO, W. C. Introdução. In: SACOMANO, J. B.; GONÇALVES, R. F.; SILVA, M. T.; BONILLA, S. H.; SÁTYRO, W. C. (Org.). *Indústria 4.0: conceitos e fundamentos*. São Paulo: Blucher, 2018.
- SÁNCHEZ, J.; SÁENZ, M. Orientación y movilidad en espacios exteriores para aprendices ciegos con el uso de dispositivos móviles. In: *Anales de la Universidad Metropolitana*. [S.l.: s.n.], 2008. v. 8, n. 2, p. 47–66.
- SANTANA, J. K. R.; FARIAS, P. L. C.; XAVIER, J. P. S.; FIGUEIREDO, V. P. Precisão de GPS em smartphones: uma ferramenta para pesquisas acadêmicas e trabalhos de campo. *Revista de Geografia - PPGeo - UFJF*, v. 9, n. 2, p. 255–267, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.34019/2236-837X.2019.v9.30154>>.

SASSAKI, R. K. Inclusão: acessibilidade no lazer, trabalho e educação. *Revista Nacional de Reabilitação (Reação)*, São Paulo, Ano XII, p. 10–16, mar./abr. 2009.

SASSAKI, R. K. *Como chamar as pessoas que têm deficiência?* 2014. Disponível em: <<https://diversa.org.br/artigos/como-chamar-pessoas-que-tem-deficiencia/>>. Acesso em: 26 mar. 2021.

SILVA, B. S.; BARBOSA, S. D. J. *Interação humano-computador: projetando a experiência perfeita*. Rio de Janeiro: Campus, 2010.

SILVA, J. V. P. *Parques Esportivos como Espaço e Lugar de In(ex)clusão de Pessoas com Deficiência Física e Visual*. Tese (Doutorado) — Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2014.

SILVA, T. N. R.; SILVA, A. L. R.; CAETANO, V. O.; SILVESTRINI, G. A.; MENEGON, N. L. Passageiros com deficiência visual no transporte aéreo: avaliação da acessibilidade em aeroportos. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional [online]*, v. 27, n. 2, p. 372–383, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.4322/2526-8910.ctoAO1677>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

SILVEIRA, C. S. *Acessibilidade Espacial no Transporte Público Urbano: Estudo de Caso em Joinville-SC*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

ŞIPOŞ, E.; CIUCIU, C.; IVANCIU, L. Sensor-based prototype of a smart assistant for visually impaired people—preliminary results. *Sensors*, v. 22, n. 11, 2022. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/11/4271>>.

SLADE, P.; TAMBE, A.; KOCHENDERFER, M. J. Multimodal sensing and intuitive steering assistance improve navigation and mobility for people with impaired vision. *Science Robotics*, v. 6, n. 59, p. eabg6594, 2021. Disponível em: <<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/scirobotics.abg6594>>.

SMITH, D. L.; PENROD, W. M. Adaptive technology of orientation and mobility. In: WIENER, W. R.; WELSH, R. L.; BLASCH, B. B. (Editors). *Foundations of Orientation and Mobility: History and theory*. 3. ed. New York: AFB Press, 2010. v. 1.

SOEST, D. van; TIGHT, M. R.; ROGERS, C. D. F. Exploring the distances people walk to access public transport. *Transport Reviews*, Routledge, v. 40, n. 2, p. 160–182, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1575491>>.

SOMYAT, N.; WONGSANSUKJAROEN, T.; LONGJAROEN, W.; NAKARIYAKUL, S. Navtu: Android navigation app for thai people with visual impairments. In: *2018 10th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 134–138.

SOUZA, M. A. *Como o impacto da utilização do Waze e Uber na Cidade de São Paulo-Brasil explica o fenómeno da quarta revolução industrial*. Dissertação (Mestrado) — Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, 2018.

SUGIYAMA, W. *Voice guidance in Maps, built for people with impaired vision*. 2019. Disponível em: <<https://blog.google/products/maps/better-maps-for-people-with-vision-impairments/>>. Acesso em: 16 ago. 2023.

- TACHIQUIN, R.; VELÁZQUEZ, R.; DEL-VALLE-SOTO, C.; GUTIÉRREZ, C. A.; CARRASCO, M.; FAZIO, R. D.; TRUJILLO-LEÓN, A.; VISCONTI, P.; VIDAL-VERDÚ, F. Wearable urban mobility assistive device for visually impaired pedestrians using a smartphone and a tactile-foot interface. *Sensors*, v. 21, n. 16, 2021. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/16/5274>>.
- TEIXEIRA, L. C.; PARAIZO, R. C. Plataformas digitais de mobilidade urbana: tipos e modos de atuação. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 15, n. 3, p. 19–33, nov. 2020. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/166299>>.
- TOLMAN, E. C. Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, v. 55, n. 4, p. 189–208, Jul. 1948. Disponível em: <<https://doi.org/10.1037/h0061626>>. Acesso em: 07 jul. 2022.
- UNITED NATIONS. *Declaration on the Rights of Disabled Persons. Resolution adopted by the General Assembly 3447*. 1975. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/a30r3447.htm>>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- UNITED NATIONS. *Convention on the Rights of Persons with Disabilities and Optional Protocol*. 2007. Disponível em: <https://treaties.un.org/doc/source/docs/A_RES_61_106-E.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL. *Plano de Acessibilidade da UFMS 2020-2024*. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://www.ufms.br/wp-content/uploads/2021/03/RESOLUCAO-CD-n-124-de-26-02-2021..pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2022.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL. *Plano de Desenvolvimento Institucional Integrado (PDI) ao Projeto Pedagógico Institucional (PPI) UFMS - 2020-2024*. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://pdi.ufms.br/files/2022/05/pdi-2020-2024-realinhado-2022.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2022.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL. *UFMS em Números - Estatísticas*. 2023. Disponível em: <<https://numeros.ufms.br/>>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- U.S. SPACE FORCE. *GPS: The Global Positioning System: A global public service brought to you by the u.s. government*. 2023. Disponível em: <<https://www.gps.gov/>>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- W3C. *Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web (WCAG) 2.1*. 2022. Disponível em: <<https://www.w3c.br/traducoes/wcag/wcag21-pt-BR/>>. Acesso em: 02 ago. 2022.
- W3C. *World Wide Web Consortium (W3C)*. 2022. Disponível em: <<https://www.w3.org/>>. Acesso em: 02 ago. 2022.
- WEID, O. von der. O corpo estendido de cegos: cognição, ambiente, acompanhamentos. *Sociologia & Antropologia*, Scielo, v. 5, p. 935–960, 12 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2238-38752015000300935&lang=pt>.
- WIEGERS, K. *Process Impact – Process Goodies*. 2018. Disponível em: <<https://processimpact.com/goodies.html#reqs>>. Acesso em: 11 ago. 2022.

- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *The prevetion of blindness: report of a WHO study group. Technical Report Series n^o 518*. Genebra, 1973. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38222/WHO_TRS_518_eng.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *International classification of functioning, disability and health: CIF*. Genebra, 2001. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42407/9241545429.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Priority Assistive Products List*. Genebra, 2016. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/207694/WHO_EMP_PHI_2016.01_eng.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2021.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Global Cooperation on Assistive Technology (GATE)*. 2018. Disponível em: <[https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/global-cooperation-on-assistive-technology-\(gate\)](https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/global-cooperation-on-assistive-technology-(gate))>. Acesso em: 18 ago. 2021.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *World report on vision*. Genebra: World Health Organization, 2019.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *ICD-11 for Mortality and Morbidity Statistics*. 2022. Disponível em: <<https://icd.who.int/browse11/l-m/en>>. Acesso em: 02 ago. 2022.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION; THE WORLD BANK. *World report on disability*. Genebra: WHO Press, 2011.
- YOUNIS, O.; AL-NUAIMY, W.; ROWE, F.; ALOMARI, M. H. A smart context-aware hazard attention system to help people with peripheral vision loss. *Sensors*, v. 19, n. 7, 2019. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/19/7/1630>>.
- ZHANG, X.; YAO, X.; ZHU, Y.; HU, F. An arccore based user centric assistive navigation system for visually impaired people. *Applied Sciences*, v. 9, n. 5, 2019. ISSN 2076-3417. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/9/5/989>>.
- ZOU, B.; LI, S.; ZHENG, Z.; ZHAN, B. F.; YANG, Z.; WAN, N. Healthier routes planning: A new method and online implementation for minimizing air pollution exposure risk. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 80, p. 101456, 2020. ISSN 0198-9715. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971519302248>>.

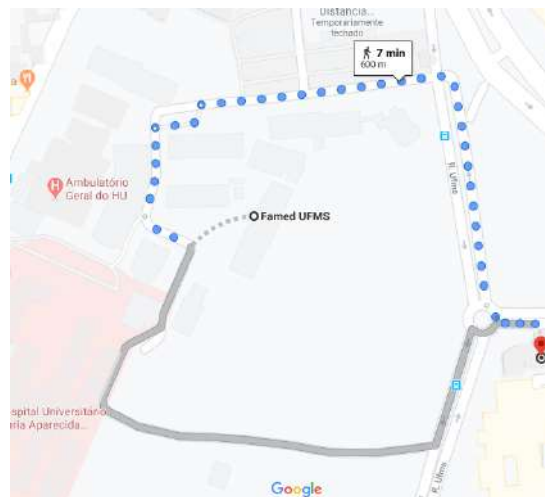
Apêndices

APÊNDICE A – ROTEIRO: VISITA UFMS

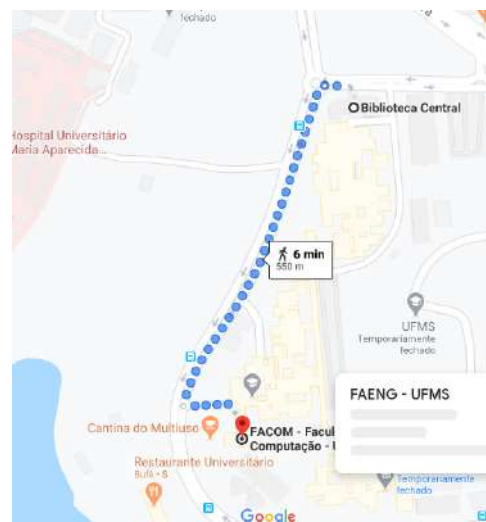
1. Cada participante será recebido no ISMAC ou ADVIMS, onde o roteiro da visita será apresentado;
2. O participante será levado até a cidade universitária da UFMS e o ponto de partida será o prédio da Faculdade de Medicina;
3. Não haverá qualquer tipo de intervenção do pesquisador, exceto quando o participante desistir de executar alguma das rotas propostas, ocasião que o pesquisador intervirá para que o participante consiga acessar o ambiente alvo;
4. O participante poderá utilizar qualquer tipo de recurso que esteja em seu alcance ou que seja de uso no seu dia a dia, incluindo as tecnologias assistivas, o *smartphone* e a solicitação de auxílio a terceiros que estejam nas regiões visitadas;
5. O roteiro propõe a execução de 4 rotas, com o interesse de acessar os seguintes ambientes da UFMS:
 - Faculdade de Medicina (FAMED)
 - Biblioteca Central
 - Faculdade de Computação (FACOM)
 - Restaurante Universitário
6. A distância e o tempo previsto para realização das rotas foram calculados no aplicativo Google Maps;
7. As rotas estão descritas a seguir:

Rota 1:

- **Local de partida:** prédio da FAMED
- **Destino:** prédio da Biblioteca Central
- **Distância aproximada:** 600 metros
- **Tempo aproximado para realização da rota:** 7 minutos

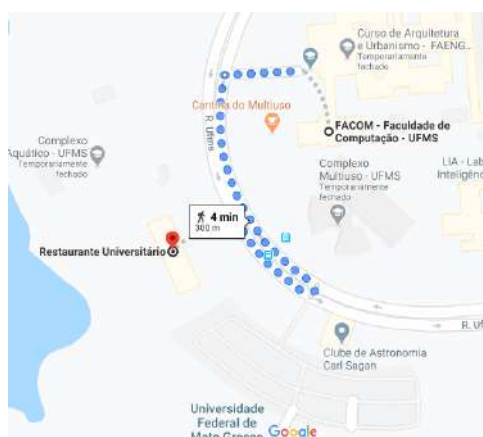
**Rota 2:**

- **Local de partida:** prédio da Biblioteca Central
- **Destino:** prédio da FACOM
- **Distância aproximada:** 550 metros
- **Tempo aproximado para realização da rota:** 6 minutos



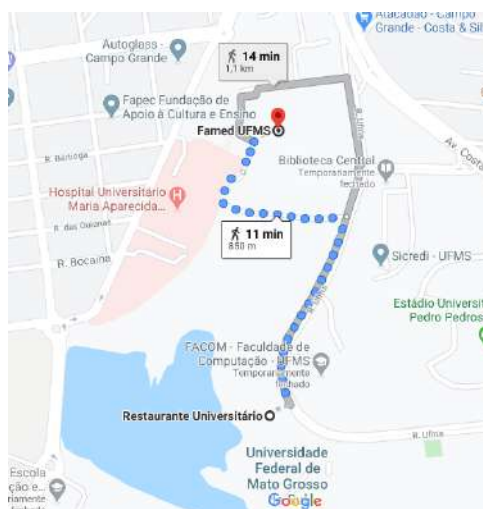
Rota 3:

- **Local de partida:** prédio da FACOM
- **Destino:** prédio do Restaurante Universitário
- **Distância aproximada:** 300 metros
- **Tempo aproximado para realização da rota:** 4 minutos



Rota 4:

- **Local de partida:** prédio do Restaurante Universitário
- **Destino:** prédio da FAMED
- **Distância aproximada:** 850 metros
- **Tempo aproximado para realização da rota:** 11 minutos



APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) a fazer parte da pesquisa “Desenvolvimento de Tecnologia Assistiva Inteligente, Utilizando Trajetórias Semânticas, para Auxiliar Pessoas com Deficiência Visual nos Ambientes da Universidade”, desenvolvida pelo pesquisador Luiz Fernando Delboni Lomba.

O objetivo do estudo é desenvolver de uma Tecnologia Assistiva Inteligente (TAI), utilizando trajetórias semânticas, para auxiliar as pessoas com deficiência visual (DV) no acesso aos ambientes da cidade universitária da UFMS. No que tange aos objetivos específicos, o trabalho intenta: identificar as dificuldades das pessoas com DV se deslocarem e acessarem os ambientes da cidade universitária da UFMS; implementar uma TAI para identificação das trajetórias de acesso aos ambientes internos da universidade, utilizando algoritmos de trajetórias semânticas, baseado na mineração de dados espaço temporais; testar a TAI nos ambientes da universidade, com participação de pessoas com DV.

Esta pesquisa justifica-se pela oportunidade de criar um novo recurso para auxílio à acessibilidade das pessoas com DV aos ambientes da universidade. A sua participação é importante pois permitirá a identificação das dificuldades de localização e acesso aos ambientes da UFMS pelas pessoas com DV, e para a validação da TAI desenvolvida, que estará disponível ao final da pesquisa, para uso pelas pessoas com DV.

O critério para participar da pesquisa é que a pessoa seja cega - com acuidade visual abaixo de 0,05 ou o campo visual menor do que 10o - ou com baixa visão - com acuidade visual de 6/60 e 18/60 (escala métrica) e/ou um campo visual entre 20° e 50° - e seja atendida pela Associação dos Deficientes Visuais de Mato Grosso do Sul (ADVIMS) ou pelo Instituto Sul-Mato-Grossense para Cegos "Florivaldo Vargas"(ISMAG). Como critério de exclusão, não poderá participar a pessoa com outro tipo de deficiência e menor de 18 anos.

Sua participação é voluntária, isto é, ela não é obrigatória, e você tem plena autonomia para decidir se quer ou não participar, bem como retirar sua participação a qualquer momento. Você terá o tempo necessário para decidir pela participação ou não, bem como para consultar, se necessário, seus familiares ou outras pessoas que possam ajudá-lo na leitura do documento e na tomada de decisão livre e esclarecida. Uma cópia em braile deste documento será fornecida, além da possibilidade de fornecimento em formato digital, para auxílio na leitura.

Você não terá prejuízo algum caso decida não participar, ou desistir da mesma. Contudo, ela é muito importante para a execução da pesquisa. Serão garantidas a confidencialidade e a privacidade das informações por você prestadas.

Qualquer dado que possa identificá-lo será omitido na divulgação dos resultados da pesquisa, e o material será armazenado em local seguro. A qualquer momento, durante a pesquisa, ou posteriormente, você poderá solicitar do pesquisador informações sobre sua participação e/ou sobre a pesquisa, o que poderá ser feito através dos meios de contato explicitados neste Termo.

Os participantes estarão divididos em 3 grupos: para o grupo 1, o participante deverá conhecer as dependências da cidade universitária da UFMS e a sua participação auxiliará na validação de um roteiro para visita à UFMS; nos grupos 2 e 3, os participantes não devem conhecer previamente a estrutura da cidade universitária e realizarão uma visita à cidade universitária, para que as dificuldades de acesso à ela sejam observadas. Os participantes do grupo 3 poderão utilizar a TAI desenvolvida para realizar a visita.

A visita prevê a identificação e o acesso a alguns ambientes da universidade. O pesquisador acompanhará a visita, sem qualquer tipo de intervenção, apenas registrando por escrito o relato dos participantes e as suas próprias percepções quanto ao acesso aos ambientes. As observações serão armazenadas em arquivos digitais, que somente os pesquisadores terão acesso.

Se você aceitar participar da pesquisa, será combinada uma data e horário, para se encontrar com o pesquisador na ADVIMS/ISMAC, onde será apresentado o roteiro da visita à UFMS e de onde será levado até a universidade. O pesquisador providenciará transporte, por meio de um carro particular (do pesquisador), para que o participante seja levado até a UFMS. O roteiro da visita iniciará e terminará no prédio da Faculdade de Medicina. Ao término da atividade, o participante será levado até a ADVIMS/ISMAC, novamente com veículo particular do pesquisador. O tempo previsto entre o início e o fim da atividade, é de aproximadamente 2 horas, variando de acordo com as particularidades de cada participante. Não há tempo mínimo ou máximo para realizar a atividade. Durante a visita será oferecido um lanche seco ao participante, contendo suco, bolacha salgada e biscoito amanteigado.

Não haverá qualquer tipo de compensação monetária às pessoas que participarem voluntariamente da pesquisa. Em caso de despesas não previstas decorrentes da participação na pesquisa, você será ressarcido. Em caso de eventuais danos decorrentes de sua participação na pesquisa, você será indenizado.

Ninguém, além do pesquisador que conduz esta pesquisa, terá acesso às anotações das observações e relatos da experiência da visita à UFMS. O participante não será identificado em nenhum momento, ou seja, os dados da pesquisa são anônimos. Em nenhum momento o nome do participante será divulgado ou publicado, resguardando o sigilo em relação ao seu nome.

Ao final da pesquisa, todo material será mantido em arquivo, sob guarda e respon-

sabilidade do pesquisador responsável, por pelo menos 5 anos, conforme Resolução CNS no 466/2012. Os resultados decorrentes do estudo serão apresentados em sua tese e em artigos científicos.

Há o risco do participante se frustrar por não conseguir acessar todos os ambientes sugeridos na visita à UFMS. Porém, você poderá, a qualquer momento da visita, desistir da tentativa de acesso a determinado ambiente, sem qualquer prejuízo para você ou à pesquisa. Nesta ocasião o pesquisador auxiliará o seu deslocamento até o destino previsto, possibilitando o acesso ao ambiente.

Considerando os obstáculos que surjam pela visita à cidade universitária da UFMS, há o risco de queda do participante. Como opção para salvaguardar a sua integridade física e bem-estar, além do auxílio do pesquisador com eventuais obstáculos que possam oferecer algum tipo de risco à integridade física, você poderá convidar uma pessoa para acompanhá-lo, que pode ser um membro da ADVIMS ou ISMAC ou uma pessoa da sua confiança.

No contexto sanitário da pandemia de Covid-19, registra-se o risco de contaminação pelo coronavírus (SARS-CoV-2), decorrente da exposição dos participantes durante a visita à UFMS. Para reduzir o risco, deve-se considerar as medidas de biossegurança previstas no Plano de Biossegurança da UFMS versão 3.0, tais como o uso de máscara, higienização das mãos e sempre que possível, guardar distanciamento mínimo de um metro e meio com outra pessoa. Caso o participante, o seu acompanhante ou o pesquisador apresente sintomas da doença, deve-se aguardar 14 dias, após o desaparecimento dos sintomas, para que a visita à universidade aconteça, ou no caso de diagnóstico positivo, deve-se aguardar 30 dias após o desaparecimento de todos os indicativos da doença.

Cabe ainda apontar os riscos e a garantia de assistência necessária durante o deslocamento até a UFMS. Em eventual situação de emergência, serão adotados os procedimentos de segurança e acionado o serviço de emergência.

Este termo é redigido em duas vias, sendo uma do participante da pesquisa e outra do pesquisador. Em caso de dúvidas quanto à sua participação, você pode entrar em contato com o pesquisador responsável através do e-mail luiz.lomba@ufms.br, do telefone (67) 98468-8080, ou pessoalmente no Laboratório de Engenharia Biomédica e Tecnologia Assistiva, localizado no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, prédio da Faculdade de Medicina – térreo, CEP: 79070-900, Campo Grande/MS.

Em caso de dúvida quanto à condução ética do estudo, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFMS (CEP/UFMS), localizado no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, prédio das Pró-Reitorias ‘Hércules Maymone’ - 1o andar, CEP: 79070-900, Campo Grande/MS; e-mail: cepconep.propp@ufms.br; telefone: (67) 3345-7187; atendimento ao público: 07:30-11:30 no período matutino e das

13:30 às 17:30 no período vespertino. O Comitê de Ética é a instância que tem por objetivo defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. Dessa forma, o comitê tem o papel de avaliar e monitorar o andamento do projeto de modo que a pesquisa respeite os princípios éticos de proteção aos direitos humanos, da dignidade, da autonomia, da não maleficência, da confidencialidade e da privacidade.

Declaro que li e entendi este Termo de consentimento e todas as minhas dúvidas foram esclarecidas, e que sou voluntário a tomar parte nesta pesquisa.

marque esta opção se você concorda que sejam realizadas observações da sua visita guiada à UFMS.

marque esta opção se você não concorda que sejam realizadas observações da sua visita guiada à UFMS.

A rogo de _____,
que é juridicamente incapaz de assinar, eu _____,
assino o presente documento que autoriza a sua participação neste estudo.

_____, de _____ de _____.

Local e data

Nome e assinatura do participante da pesquisa

Nome e assinatura do pesquisador

APÊNDICE C – DETALHAMENTO DAS FUNCIONALIDADES DO APLICATIVO - SMART CANE SMART ROUTES

1. MÓDULO TRAÇAR ROTA

Ao abrir o aplicativo, é apresentada a tela de inicialização do sistema, que exibe o nome *Smart Cane Smart Routes* (SCSR) juntamente com o logotipo adotado (Figura 1a). O nome *Smart Cane Smart Routes* faz referência aos termos em inglês *bengala inteligente* e *rotas inteligentes*.

O logotipo consiste em três elementos distintos:

- Um conjunto de seis setas, cada uma apontando em uma direção, representando diferentes coordenadas;
- O logo *The Accessibility*, criado pela Organização das Nações Unidas e utilizado como símbolo internacional de acessibilidade. Esse logo apresenta uma figura simétrica conectada por quatro pontos a um círculo, representando a harmonia entre o ser humano e a sociedade, com os braços abertos simbolizando a inclusão de pessoas com todas as habilidades, em todos os lugares.
- Um cavalete, que é um equipamento de proteção coletiva usado para sinalizar perigo, simbolizando possíveis restrições ou barreiras em um ambiente.

Após a inicialização, o sistema carrega a tela principal (Figura 1b). Ele obtém a posição atual do usuário, utilizando as coordenadas geográficas (latitude e longitude) fornecidas pelo **GPS**, e exibe um mapa com foco na localização atual do usuário. As coordenadas são convertidas em formato de endereço, e as informações do logradouro, bairro e cidade são apresentadas. No entanto, se o sistema não conseguir acessar o **GPS** do *smartphone* ou se estiver sem conexão à Internet, uma mensagem de erro será exibida, como ilustrado na Figura 1c.

No rodapé das telas, encontram-se duas opções: *Selecionar Destino* (cor vermelha) e *Configurações* (cor branca). A opção destacada na cor vermelha indica a tela visualizada pelo usuário. Detalhes das *Configurações* são apresentados na subseção 1.1, enquanto a opção *Selecionar Destino* é detalhada na subseção 1.2.



(a) Tela de inicialização do sistema.

Descrição da figura: Apresentação da logo, sigla (SCSR) e nome do aplicativo (Smart Cane Smart Routes). O fundo da tela é vermelho, o texto é branco com bordas pretas e o logotipo é branco.

(b) Tela principal do aplicativo.

Descrição da figura: Parte superior da tela apresenta um retângulo com fundo vermelho e letras brancas contendo o texto "Digite o destino desejado". Logo abaixo, há outro retângulo com fundo preto e letras brancas exibindo informações da localização atual do usuário. Mais abaixo, é exibido um mapa gerado pelo Google Maps. No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (cor vermelha) e "Configurações" (cor branca).

(c) Tela principal do aplicativo com mensagem de erro.

Descrição da figura: Parte superior da tela apresenta um retângulo com fundo preto e letras brancas contendo uma mensagem de erro. Abaixo, é exibido um mapa gerado pelo Google Maps. No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (cor vermelha) e "Configurações" (cor branca).

Figura 1 - Tela de inicialização e tela principal do aplicativo.

1.1 Configurações do perfil do usuário

Ao selecionar *Configurações*, o sistema carrega a tela com as opções de personalização do perfil do usuário (Figura 2a), que incluem os botões *Itens de Barreira*, *Itens de Promoção*, *Tipos de Notificações*, *Informações das Notificações*, *Frequência das Notificações* e *Peso dos Atributos*.

As opções *Itens de Barreira* e *Itens de Promoção* permitem que o usuário escolha os itens de acessibilidade de seu interesse. A Figura 2b exibe a tela para configurar os itens de barreira, enquanto a Figura 2c apresenta a tela para selecionar os itens de promoção. Quando o usuário seleciona um destino, o sistema utiliza apenas os itens escolhidos nessas opções para sugerir e monitorar as rotas, como descrito posteriormente.

A lista de itens disponíveis para configuração é resultado da compilação dos dados obtidos na etapa de levantamento de requisitos. Dessa compilação, foram gerados nove itens de promoção e cinco itens de barreira, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Relação de itens de acessibilidade disponíveis para configuração do perfil do usuário.

Itens de promoção/referência	Itens de barreira
Escada	Ausência de calçamento
Faixa elevada	
Lixeira	Ausência de piso tátil
Piso de alerta	
Placa	Buraco
Ponto de ônibus	
Portão	Calçamento danificado
Som de queda d'água	
Totem vertical	Objeto não sinalizado



(a) Tela personalizar perfil.

Descrição da figura: Lista de seis botões com fundo vermelho e letras brancas, incluindo as opções "Itens de Barreira", "Itens de Promoção", "Tipos de Notificações", "Informações das Notificações", "Frequência das Notificações" e "Peso dos Atributos". No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (cor branca) e "Configurações" (cor vermelha).

(b) Tela personalizar itens de barreira.

Descrição da figura: Lista com cinco interruptores (switch), cada um com sua respectiva descrição textual do item. Todos os interruptores estão ativados: fundo na cor branca com ícone na cor vermelha. No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (cor branca) e "Configurações" (cor vermelha).

(c) Tela personalizar itens de promoção.

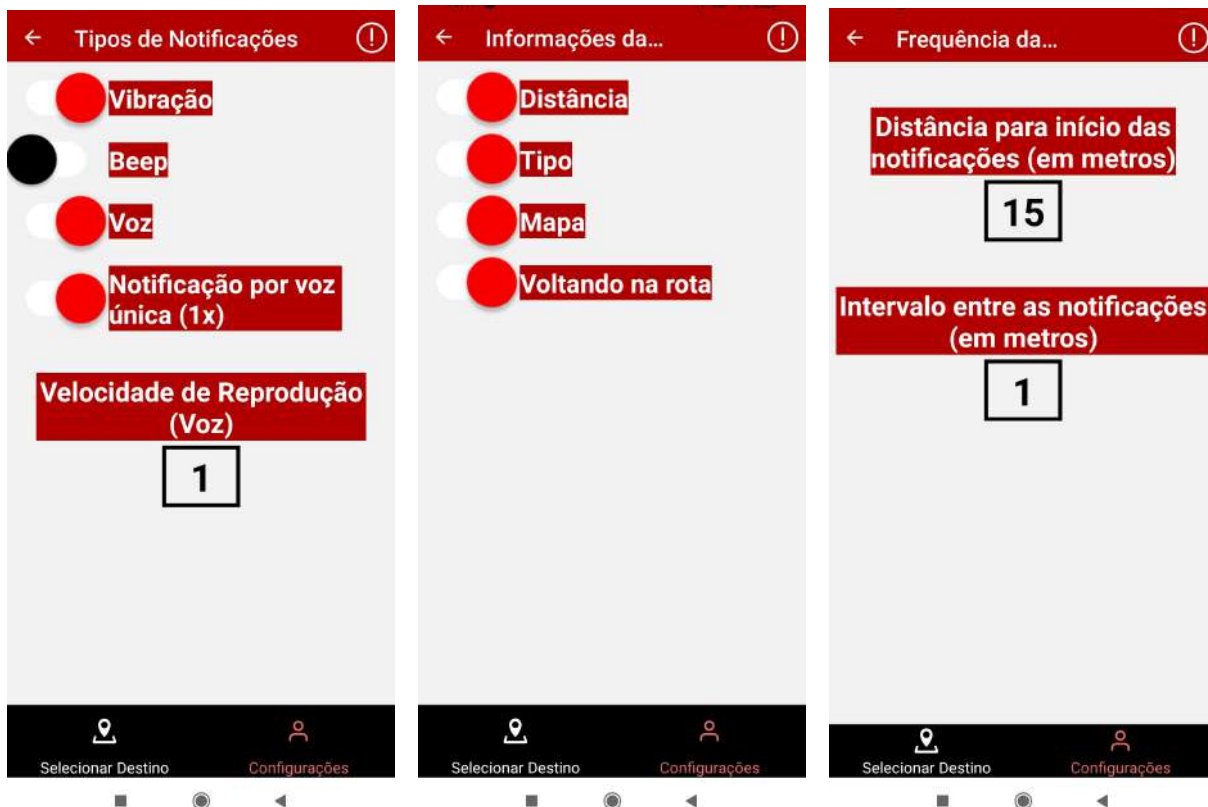
Descrição da figura: Lista com nove interruptores (switch), cada um com sua respectiva descrição textual do item. A cor do interruptor varia conforme seu estado: quando ativado, possui fundo na cor branca com ícone na cor vermelha; quando desativado, possui fundo na cor branca com ícone na cor preta. No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (cor branca) e "Configurações" (cor vermelha).

Figura 2 - Telas de configuração do perfil do usuário, itens de barreira e itens de promoção.

Na opção *Tipos de Notificações* (Figura 3a), o usuário define os tipos de notificações emitidas pelo aplicativo, que podem incluir *vibração*, *bipe* e/ou *voz*. Há ainda a opção *Notificação por voz única (1x)*, que indica que as notificações por voz não serão repetidas. Se a opção *voz* está ativada, é possível também ajustar a *velocidade de reprodução*.

Na opção *Informações das Notificações* (Figura 3b), o usuário escolhe quais informações deseja receber para cada item de acessibilidade identificado, podendo optar pela *distância* e/ou pelo *tipo do item*. Além disso, há a opção de decidir se o *mapa* com a localização atual do usuário será exibido na tela principal e se o aplicativo emitirá um alerta caso a rota esteja sendo executada em direção contrária, ou seja, quando a distância até o destino estiver aumentando.

Na opção *Frequência das Notificações* (Figura 3c), o usuário configura a *distância* em relação aos itens de acessibilidade na qual as notificações sobre o item devem ser iniciadas. Além disso, é possível definir o *intervalo* para a repetição das notificações.



(a) Tela personalizar tipos de notificações.

Descrição da figura: Lista com quatro interruptores (switch), cada um com a respectiva descrição textual do tipo de notificação. A cor do interruptor varia conforme seu estado: quando ativado, possui fundo na cor branca com ícone na cor vermelha; quando desativado, possui fundo na cor branca com ícone na cor preta. Abaixo da lista, há um retângulo com fundo vermelho e letras brancas contendo a descrição da caixa de edição. Mais abaixo, encontra-se uma caixa de edição com fundo branco e letra preta que exibe o valor da velocidade de reprodução da voz. No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (cor branca) e "Configurações" (cor vermelha).

(b) Tela personalizar informações das notificações.

Descrição da figura: Lista com quatro interruptores (switch), cada um com a respectiva descrição textual da informação a ser notificada. Todos os interruptores estão ativados, com fundo na cor branca e ícone na cor vermelha. No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (cor branca) e "Configurações" (cor vermelha).

(c) Tela personalizar frequência das notificações.

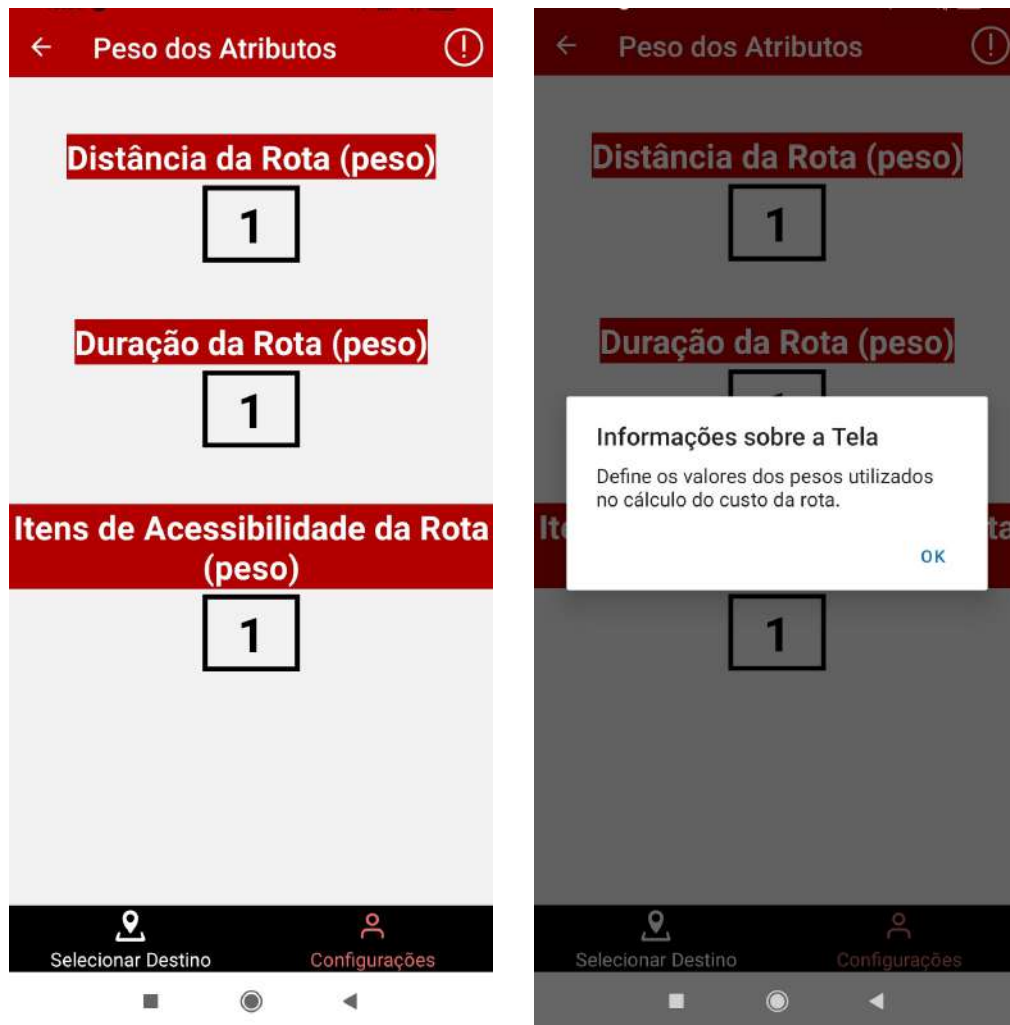
Descrição da figura: Retângulo (fundo vermelho e letra branca) com a descrição da caixa de edição (retângulo, mais abaixo, fundo branco e letra preta) com o valor da distância para início das notificações. Logo abaixo, há outro retângulo (fundo vermelho e letra branca) com a descrição da caixa de edição com o valor do intervalo entre as notificações. No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (cor branca) e "Configurações" (cor vermelha).

Figura 3 - Telas de configuração dos tipos de notificações, informações das notificações e frequência das notificações.

Por fim, a opção *Peso dos atributos* (Figura 4a) permite a personalização dos parâmetros utilizados no cálculo do custo das rotas. Esses parâmetros atribuem pesos às variáveis de distância, duração e quantidade de itens de acessibilidade presentes em uma rota. Os valores desses pesos são utilizados na função de cálculo do custo da rota (a função será apresentada posteriormente), com o objetivo de evitar que o algoritmo aumente excessivamente a distância e a duração da rota ao buscar o melhor caminho. Quanto maior o valor do peso, maior o seu impacto no custo.

Em todas as telas de configuração, na parte superior, há um ícone com o símbolo de "!". Ao selecionar o ícone, o aplicativo exibe uma notificação que fornece uma breve explicação das funções da tela. A Figura 4b ilustra um exemplo da notificação apresentada na tela *Peso dos atributos*.

Todas as modificações são salvas localmente no *smartphone* e recuperadas automaticamente nas próximas execuções do aplicativo. É importante ressaltar que não há coleta ou armazenamento de qualquer dado pessoal do usuário, incluindo sua interação com o sistema, garantindo assim a total privacidade do usuário. No caso de troca de *smartphone*, será necessário reconfigurar o perfil no novo dispositivo.



(a) Tela personalizar pesos dos atributos.

Descrição da figura: Retângulo (fundo vermelho e letra branca) com a descrição da caixa de edição (retângulo, mais abaixo, fundo branco e letra preta) com o valor do peso da distância. Logo abaixo, encontra-se a descrição e a caixa de edição do valor do peso da duração da rota. Mais abaixo, há a descrição e a caixa de edição com o valor do peso dos itens de acessibilidade. No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (cor branca) e "Configurações" (cor vermelha).

(b) Tela com notificação sobre as informações da tela.

Descrição da figura: Retângulo (fundo branco e texto preto) com uma mensagem detalhando as informações sobre a tela.

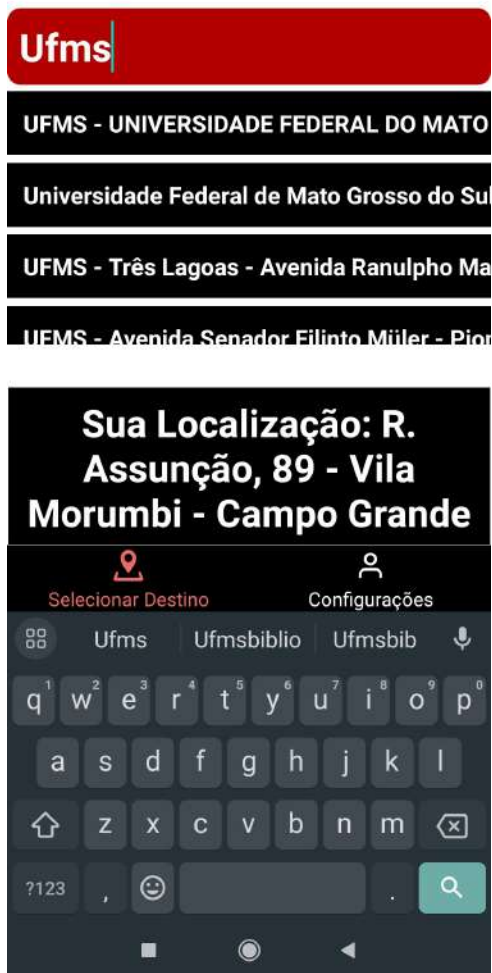
Figura 4 - Telas de personalização do perfil do usuário e consulta às informações da tela.

1.2 Traçar rota

Na tela principal, há uma caixa de edição com o texto *Digite o destino desejado* na qual o usuário informa o destino desejado para que o sistema trace a rota. Quando o usuário seleciona a caixa de edição, o teclado do *smartphone* é ativado. À medida que o usuário digita o endereço, o sistema apresenta uma lista de sugestões para escolha. A Figura 5a ilustra um exemplo em que a palavra *UFMS* foi digitada, e o sistema apresenta as sugestões para que o usuário selecione. Se o usuário continuar a digitar, o sistema refina a busca e apresenta novas sugestões. O destino pode ser informado de duas maneiras: utilizando o endereço ou o nome do local. No caso do nome ser informado, o sistema busca sugestões no Google Places.

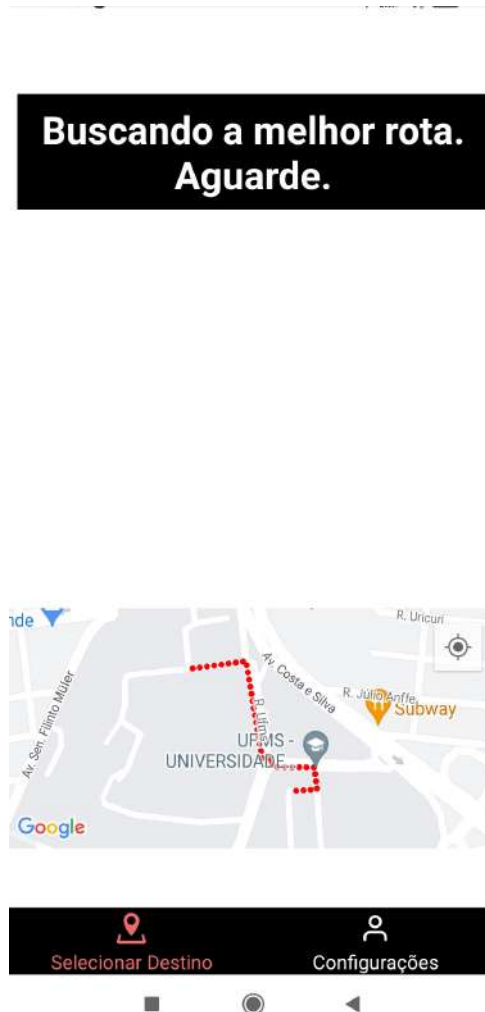
Após a seleção de uma das opções, o sistema traça automaticamente a rota entre a localização atual do usuário e o destino informado. A rota é gerada pelo Directions API (serviço do Google), utilizando o modo de deslocamento *a pé* (caminhando). A Figura 5b ilustra a tela do sistema durante a busca da rota.

Os detalhes sobre como a rota é traçada estão explicados na seção 2.



(a) Tela selecionar destino.

Descrição da figura: Parte superior da tela com um retângulo (fundo vermelho e letra branca) contendo o texto "UFMS". Logo abaixo, encontra-se uma lista de sugestões de localidades (fundo preto com letra branca). Na parte inferior da tela, o teclado do smartphone está ativado.



(b) Tela traçando rota.

Descrição da figura: Parte superior da tela com um retângulo (fundo preto e letra branca) exibindo a mensagem "Buscando a melhor rota. Aguarde.". Logo abaixo, encontra-se um mapa gerado pelo Google Maps com uma linha tracejada que conecta o ponto de origem ao ponto de destino. Na parte inferior da tela, há um retângulo (fundo preto) contendo duas opções: "Selecionar Destino" (cor vermelha) e "Configurações" (cor branca).

Figura 5 - Telas para seleção do destino e traçar rota.

2. MÓDULO CUSTO DA ROTA

2.1 Algoritmo para otimização das rotas

O algoritmo é formado por três funções relacionadas - *BestRoute*, *TraceRoute* e *CheckNeighbor*.

A função *BestRoute* (*Algorithm 1*) é a principal e tem como objetivo encontrar a melhor rota entre origem e destino. A função recebe três parâmetros (origem, destino e usuário) e chama a função *TraceRoute*.

A função *TraceRoute* (*Algorithm 2*) cria a rota entre a origem e o destino, a partir da função *NewRoute*. O algoritmo considera a função *NewRoute* como um recurso externo, fornecido por qualquer serviço de mapas e rotas - para esta pesquisa, o recurso utilizado foi o Directions API.

Para cada coordenada da rota, verifica-se a existência de itens de acessibilidade, em um raio de até 5 metros. As variáveis *globalPromotion* e *globalObstacle* (linhas 4 e 6 - *Algorithm 2*) representam estes itens e são obtidas da base de dados. Somente os tipos de itens configurados no perfil do usuário são consultados na base de dados.

Para calcular a distância entre dois pontos aplicou-se a função Haversine, que permite calcular a distância entre dois pontos na superfície de uma esfera, a partir das coordenadas geográficas (longitude e latitude). Na função, r é o raio da esfera (o raio equatorial da Terra é de 6.378.1366 km), ϕ_1 e ϕ_2 representam as latitudes das duas coordenadas e λ_1 e λ_2 as longitudes.

$$distancia = 2r \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2}\right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2}\right)}\right)$$

Com a lista de itens, o custo da rota é calculado (*routeCost*) e a função *CheckNeighbor* executada.

A função *CheckNeighbor* (*Algorithm 3*) tem como objetivo verificar se, para cada barreira identificada, existe algum item de promoção nas proximidades, chamado de *vizinho*. Para realizar essa verificação, calcula-se a distância entre cada barreira e cada item de promoção. Se a distância for menor que 150 metros e o item de promoção não estiver originalmente na rota, ele é adicionado como um *waypoint*.

Para cada *waypoint*, uma nova rota é calculada com o objetivo de contornar a barreira detectada e passar pelo *waypoint*.

Ao calcular o custo de cada nova rota e compará-lo com o da rota original, se uma nova rota tiver um custo menor, ela se torna a rota principal. Esse processo é repetido até que não haja mais rotas com custo menor. Nesse ponto, o algoritmo é encerrado.

Algorithm 1 Best Route

```

1: function BESTROUTE(origin, destination, user)
2:   route  $\leftarrow$  TraceRoute(origin, destination, user)
3:   bestRoute  $\leftarrow$  route
4:   route.waypoint  $\leftarrow$  CheckNeighbor(route)
5:   loop
6:     if route.waypoint then
7:       for each waypoint in route.waypoint do
8:         newRoute  $\leftarrow$  TraceRoute(origin, destination, user, waypoint)
9:         if newRoute.cost < route.cost then
10:          bestRoute  $\leftarrow$  newRoute
11:        end if
12:      end for
13:    end if
14:    if bestRoute = route then
15:      break
16:    else
17:      route  $\leftarrow$  bestRoute
18:      route.waypoint  $\leftarrow$  CheckNeighbor(route)
19:    end if
20:  end loop
21: end function

```

Algorithm 2 Trace Route

```

1: function TRACEROUTE(orig, dest, user, [waypoint])
2:   route  $\leftarrow$  NewRoute(orig, dest, [waypoint])
3:   for each routePoint in route.coordinates do
4:     if routePoint in globalPromotion then
5:       route.promotion add routePoint
6:     else if routePoint in globalObstacle then
7:       route.obstacle add routePoint
8:     end if
9:   end for
10:  route.cost  $\leftarrow$   $\{(route.distance * user.distWeight) +$ 
11:   $(route.duration * user.duratWeight) +$ 
12:   $[(route.obstacle - route.promotion) *$ 
13:   $user.accesWeight]\}$ 
14:  return route
15: end function

```

Algorithm 3 Check Neighbor

```

1: function CHECKNEIGHBOR(route)
2:   for each obstPoint in route.obstacle do
3:     for each promPoint in globalPromotion do
4:       if Distance(obstPoint,promPoint) < 0.15 and
         promPoint not in route.coordinates then
5:         neighbor add promPoint
6:       end if
7:     end for
8:   end for
9:   return neighbor
10: end function

```

Cada vez que uma nova rota é calculada, seu custo é avaliado em relação ao custo da rota original. Se a nova rota apresentar um custo menor, ela é promovida à posição de rota principal. Após examinar todos os *waypoints* e suas respectivas rotas, caso uma nova rota principal tenha sido estabelecida, o algoritmo repete o processo, examinando os vizinhos dessa nova rota e os *waypoints* subsequentes. O algoritmo continua iterando até que não haja mais rotas com custos menores a serem encontradas, momento em que é finalizado.

2.2 Informações da rota traçada

Após o processamento do algoritmo, o sistema apresenta as informações da rota ao usuário, conforme ilustrado na Figura 6. As informações exibidas incluem a distância e a duração prevista para a execução da rota, bem como o número de itens de acessibilidade identificados, categorizados como itens de barreira e itens de promoção. O mapa também é exibido, com uma linha tracejada (cor azul) representando a rota gerada e marcadores ao longo dela (há ainda uma linha tracejada na cor amarela, que representa a rota original gerada pelo Directions API). Os itens de promoção são representados por um ícone com o logo *The Accessibility* (na cor verde), enquanto os itens de barreira são indicados por um ícone com um cavalete (na cor vermelha). Ao clicar em um marcador, o sistema exibe a descrição do item. Além disso, a interface inclui dois botões - *Executar rota* e *Nova busca* - que permitem ao usuário iniciar a execução da rota ou limpar os dados da rota traçada. Caso não haja uma rota alternativa com menor custo, a rota original é mantida.



Figura 6 - Rota traçada.

Descrição da figura: Na parte superior da tela, há um retângulo com fundo preto e texto na cor branca, que apresenta informações sobre a rota, incluindo distância, duração, quantidade de barreiras e itens de promoção. Abaixo, estão dois botões em formato retangular arredondado, com fundo vermelho e letras brancas, oferecendo as opções "Executar rota" e "Nova busca". Mais abaixo, encontra-se um mapa gerado pelo Google Maps. A rota original é representada pela linha tracejada na cor azul amarela, enquanto a rota otimizada é representada pela linha tracejada na cor azul. Adicionalmente, ao longo da linha azul, há marcadores representando os itens de acessibilidade, sendo que um deles está ativado, exibindo a descrição do item "Placa". No rodapé da tela, há um retângulo com fundo preto, que inclui duas opções: "Selecionar Destino" (em vermelho) e "Configurações" (em branco).

3. MÓDULO EXECUTAR ROTA

3.1 Tela executar rota

Dois tipos de notificações são emitidas: (1) com as informações das coordenadas que o usuário deve seguir; (2) com as informações sobre os itens de acessibilidade identificados.

A Figura 7a mostra a tela com as instruções para que o usuário execute a coordenada atual da rota. Além disso, exibe a distância que o usuário deve percorrer até que uma nova orientação seja fornecida. Na tela apresentada na Figura 7b, além das instruções da coordenada atual, é exibido o histórico da última notificação. As instruções fornecidas são geradas pelo Directions API.

A Figura 7c apresenta a tela na qual, além das coordenadas para execução da rota, são fornecidas informações sobre os itens de acessibilidade identificados. Essas informações incluem o tipo do item, a distância até ele e informações adicionais.



(a) Tela com as orientações detalhadas para execução da rota.

Descrição da figura: Na parte superior da tela, um retângulo com fundo preto e texto na cor branca apresenta as instruções para a execução da rota, juntamente com a distância a ser percorrida. Abaixo, há uma lista de quatro botões em formato retangular arredondado, com fundo vermelho e letras brancas, oferecendo as opções "Próximo Item", "Item Anterior", "Informações Adicionais" e "Encerrar". No rodapé da tela, um retângulo com fundo preto contém duas opções: "Monitora" em vermelho e "Bússola" em branco.

(b) Tela com as orientações atual e anterior para execução da rota.

Descrição da figura: Na parte superior da tela, há um retângulo arredondado com fundo vermelho e letras brancas, exibindo informações sobre a orientação anterior. Abaixo, encontra-se outro retângulo com fundo preto e texto em branco, fornecendo informações sobre a coordenada atual, bem como a distância a ser percorrida. Mais abaixo, uma lista de quatro botões em formato retangular arredondado, com fundo vermelho e letras brancas, oferece as opções "Próximo Item", "Item Anterior", "Informações Adicionais" e "Encerrar". No rodapé da tela, um retângulo com fundo preto contém duas opções: "Monitora" em vermelho e "Bússola" em branco.

(c) Tela com as orientações da rota e informações do item de acessibilidade.

Descrição da figura: Na parte superior da tela, um retângulo com fundo preto e texto na cor branca apresenta as instruções para a execução da rota, juntamente com a distância a ser percorrida. Abaixo, novo retângulo (fundo preto e letra branca), com as informações do item de acessibilidade identificado. Mais abaixo, há uma lista de quatro botões em formato retangular arredondado, com fundo vermelho e letras brancas, oferecendo as opções "Próximo Item", "Item Anterior", "Informações Adicionais" e "Encerrar". No rodapé da tela, um retângulo com fundo preto contém duas opções: "Monitora" em vermelho e "Bússola" em branco.

Figura 7 - Telas de execução das rotas, com as orientações de coordenadas e informações sobre o item de acessibilidade.

Para interagir com a tela, o usuário dispõe de quatro botões. Ao acionar o botão *Próximo Item*, o sistema fornece informações sobre o próximo item na rota; o botão *Item Anterior* exibe informações sobre o último item ultrapassado pelo usuário; o botão *Inform. Adicional* apresenta informações adicionais sobre o próximo item na rota; por fim, o botão *Encerrar* finaliza a execução da rota e retorna à tela principal do aplicativo.

Além dos botões, quando o usuário pressiona as caixas de texto que exibem informações sobre as coordenadas e os itens de acessibilidade, o sistema reproduz essas informações por voz. Esse recurso pode ser útil para os usuários que não utilizam leitores de tela, como pessoas com baixa visão que conseguem ler as informações na tela do *smartphone*.

No rodapé da tela, encontra-se a opção *Bússola*. Ao pressioná-la, o sistema captura a posição atual do usuário e notifica, por voz, sua coordenada atual em relação aos pontos cardeais (norte, sul, leste, oeste, nordeste, noroeste, sudeste ou sudoeste).

3.2 Configuração das notificações

As notificações, com as coordenadas que o usuário deve executar, são apresentadas continuamente na tela. Sempre que uma nova orientação está disponível, atualiza-se a tela e, se configurado no perfil do usuário, notifica-se por voz e vibração. A distância é atualizada na tela conforme o usuário se desloca.

Notificações contendo informações sobre os itens de acessibilidade são ativadas quando o usuário está a uma determinada distância do item (configurada em seu perfil). As informações são continuamente apresentadas na tela e notificadas ao usuário por meio de recursos cadastrados em seu perfil, como vibração, bipe e/ou voz. A notificação é repetida sempre que o intervalo definido no perfil do usuário é percorrido. Além disso, a distância até o item é atualizada em tempo real na tela conforme o usuário se desloca.

A depender da configuração no perfil do usuário, as notificações por voz podem informar o tipo e/ou a distância para o item identificado. Sempre que o usuário passa por um item, o sistema emite uma notificação por voz (caso esteja configurado), informando a passagem. Da mesma maneira, se o próximo item é o último item da rota, o usuário recebe uma notificação por voz.

Quando a notificação é feita somente por vibração e/ou bipe, não há distinção do tipo ou da distância para o item. As notificações por bipe e vibração distinguem apenas o tipo de aviso, que pode ser uma coordenada ou um item de acessibilidade. Para notificar uma nova coordenada, o aviso sonoro (bipe) e a vibração são ativados uma única vez. Enquanto para a notificação do item de acessibilidade, uma sequência de 3 bipes e 3 vibrações são emitidos. Além disso, o bipe ainda diferencia-se pelo som emitido, a depender do tipo de aviso.

3.3 Ajustes nas notificações

As diferenças de desempenho do aplicativo em relação às notificações não foram avaliadas ou comparadas em diferentes configurações do perfil do usuário. No entanto, existe a hipótese de que atrasos podem ocorrer nas notificações por voz. Se uma nova notificação for emitida durante a reprodução de uma anterior, haverá a formação de uma fila de notificações. Portanto, a nova notificação aguardará o término da anterior, atrasando a reprodução em relação ao momento de sua emissão. Esse atraso fará com que o usuário receba a informação em um contexto diferente daquele em que a notificação foi emitida.

Foram implementadas duas estratégias preventivas para evitar a sobreposição de notificações. Na primeira estratégia, os itens de acessibilidade identificados em um raio de até 5 metros são agrupados. Ao emitir uma notificação, o aplicativo exibe as informações de todos os itens agrupados e a distância estimada até o item mais próximo.

Na segunda estratégia, quando os itens de acessibilidade são identificados, a notificação por voz é reproduzida uma única vez. Se o usuário desejar receber repetidamente as notificações por voz (até que passe pelo item), é necessário alterar a configuração nos *Tipos de Notificações*, desativando a opção *Notificação por voz única (1x)* (Figura 3a). Quanto às notificações na tela, vibração e bipe, não há qualquer variação.