

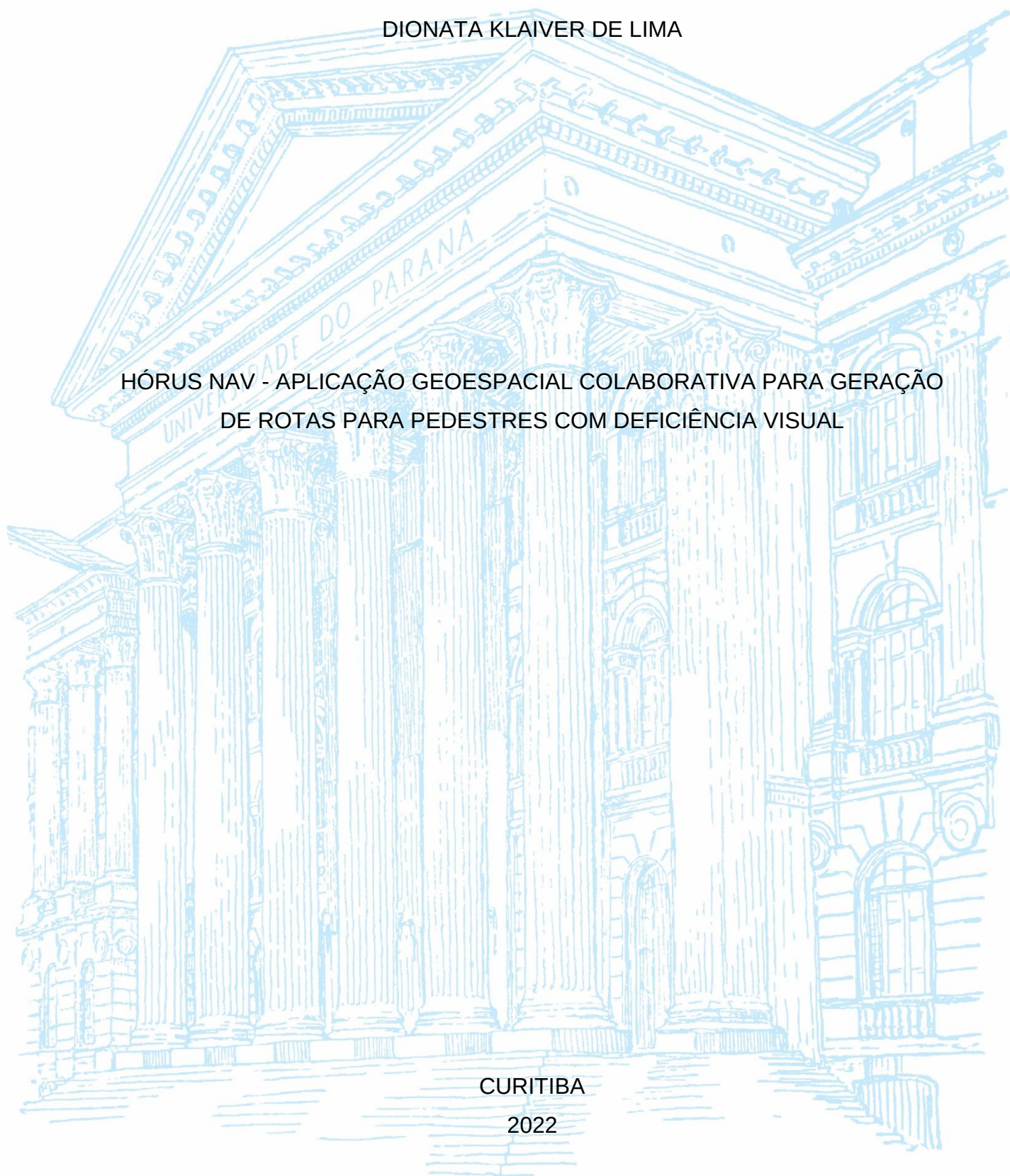
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DIONATA KLAIVER DE LIMA

HÓRUS NAV - APLICAÇÃO GEOESPACIAL COLABORATIVA PARA GERAÇÃO
DE ROTAS PARA PEDESTRES COM DEFICIÊNCIA VISUAL

CURITIBA

2022



DIONATA KLAIVER DE LIMA

HÓRUS NAV - APLICAÇÃO GEOESPACIAL COLABORATIVA PARA GERAÇÃO
DE ROTAS PARA PEDESTRES COM DEFICIÊNCIA VISUAL

TCC apresentado ao curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Silvana Philip
Camboim.

Coorientador(a): Prof(a). Dr(a). Anelise Schmitz.

Coorientador(a): Me. Kauê de Moraes Vestena

CURITIBA

2022

Ao melhor amigo, que como estrela iluminou meu caminho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família e amigos por me apoiarem e sempre me manterem sempre motivado durante todo o período da graduação.

Agradeço aos meus orientadores por toda dedicação e paciência e ensinamentos durante a realização deste trabalho.

Agradeço à todos os professores os quais tive o prazer de aprender durante esses 5 anos de graduação.

Agradeço imensamente à Isabella Alves por toda ajuda e por todas as contribuições prestadas não somente durante a realização do trabalho, mas durante todo o período da graduação.

Agradeço à Andréa Asti Severo e Emanuel Noimann da Fundação de Atendimento ao Deficiente e ao Superdotado do Rio Grande do Sul (FADERS) por todo carinho, dedicação, apoio e ensinamentos prestados durante a execução deste trabalho.

Agradeço à todos os colegas do curso de Engenharia Cartográfica por tornarem este período de convívio ainda mais especial.

Agradeço à Raphael, Gabriele Câmara e Thalita Mascarenhas pela paciência ao tirar dúvidas e por todo suporte prestado durante o desenvolvimento da aplicação.

Agradeço a Pró Reitoria de Assuntos Estudantis (PRAE) pela concessão dos auxílios financeiros que foram fundamentais na minha formação.

*“Todos nós podemos errar,
mas a perseverança no erro é que é loucura.”
(Zenão de Cítio.)*

RESUMO

O plano de mobilidade urbana, principal instrumento de execução do planejamento da mobilidade urbana, a Lei nº 12.587/2012 apresenta a mobilidade como a facilidade de deslocamento de pessoas e bens no espaço urbano, no entanto para que todas as pessoas possam se deslocar no espaço urbano, as cidades necessitam de infraestrutura acessível, garantindo assim o direito fundamental de ir e vir. Aplicações de roteamento são amplamente utilizadas como ferramentas que auxiliam as pessoas em seus deslocamentos, porém aplicações de roteamento tradicionais normalmente geram rotas considerando apenas um parâmetro: a distância. Em alguns casos, essas ferramentas podem também considerar o tempo do deslocamento, porém existem muitas situações em que a rota desejada não se trata da rota mais curta ou da rota mais rápida, nestes casos a rota desejada irá depender de elementos adicionais. Pessoas com algum tipo de deficiência podem ter preferências por outros tipos de rotas, cadeirantes podem precisar evitar trechos com alta inclinação, ou calçadas estreitas, diferentes demandas podem gerar outras necessidades para o traçado de rotas. O presente estudo foi realizado com o auxílio de potenciais usuários da aplicação, com o objetivo da criação de uma ferramenta *web* capaz de traçar rotas otimizadas para pessoas com deficiência visual no campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, visando auxiliar sua navegação em espaços externos. Preconizando a universalidade de acesso, foi utilizada a estrutura de dados disponibilizada no “*OpenStreetMap*” um mapa colaborativo, de licença aberta, além de software livre para o desenvolvimento. A otimização das rotas se deu através da ponderação de atributos, que foram mapeados para cada trecho de calçadas da área de estudo. Além da otimização da rota, este estudo também se propôs a considerar outro problema vivenciado por pessoas com deficiência visual ao realizar seus deslocamentos: o surgimento de barreiras repentinas. Tais barreiras foram relatadas como elementos que afetam negativamente a caminhabilidade destes usuários, pois o fato de não saber da existência de tal barreira a torna um perigo durante o deslocamento, o trabalho propõe uma solução de mapeamento colaborativo onde é possível reportar tais barreiras e em conjunto construir uma base de dados que possa ser utilizada por todos os usuários.

Palavras-chave:

Acessibilidade. Mobilidade. Deficiência Visual. SIG. Desenvolvimento Web.

ABSTRACT

The urban mobility plan, the main instrument for implementing urban mobility planning, *Lei nº 12.587/2012* defined the mobility as the displacement of people and goods in the urban space. However, the city must have an accessible infrastructure able to allow every person to displace, ensuring the fundamental freedom of movement. Routing planning applications are widely used to assist people on their moving from place to place. Traditionally routing applications usually perform routes considering just one parameter: the distance. Some cases, a few features may consider the time of displacement. Besides that, are many situations where the route needed should not be the faster or the shorter. In those cases, the route in need will depend on further information. People with disability may have preferences to different types of routes. Wheelchair users may need to avoid very sloped paths or narrow paths walk, for example. Different disabilities may generate other demands of route planning. The main objective of this study was the creation of a prototype of a web application capable of planning routes optimized to blind people, in order to assist their outdoor navigation. Concerning the open access, the study was performed using the data structure offered by the collaborative mapping system of OpenStreetMap. The optimization of routes was performed by ponderations of attributes that were settled by each stretch of the study area's path walk. Beyond that route optimization problem, this study aims to solve other problem related to blind people walking such as temporal obstructions. Those obstructions were reported as elements that would affect negatively the walking process of blind people. Since they do not have the knowledge of existence of such obstruction it may set then into dangerous situation during the walk. In this way the study proposes the development of a collaborative mapping capable to receive users reports of the existence of obstructions unknown in the data system, keeping the walking as updated as possible for all users.

Keywords:

Accessibility. Mobility. Visual impairment. GIS Web Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - ODS da ONU	24
Figura 2 - Alfabeto Braile.....	24
Figura 3 - Exemplo de rampa de acesso.....	26
Figura 4 - Exemplo de piso tátil	27
Figura 5 - Protótipo NAVIG.....	30
Figura 6 - Exemplo de implementação - Blind Navigation.....	31
Figura 7 - Fluxo de trabalho	32
Figura 8 - Área de estudo.....	33
Figura 9 - Passos da modelagem UML	36
Figura 10 - Página inicial do OSM.....	37
Figura 11 - Tipos de mapeamento de calçadas no OSM	38
Figura 12 - Subdivisão do Campus e adjacências no <i>Tasking Manager</i>	39
Figura 13 - Exemplo de geometria de calçada.....	39
Figura 14 - Exemplo de geometria de cruzamento.....	40
Figura 15 - (a) Seleção de missões no <i>StreetComplete</i> , (b) Tela de mapeamento, (c) Exemplo de mapeamento	42
Figura 16 - Tela do OverPass Turbo	43
Figura 17 - Diagrama de casos de uso	53
Figura 18 - Diagrama de classes.....	54
Figura 19 - Linguagem Cartográfica.....	55
Figura 20 - Arquitetura do sistema	57
Figura 21 - Logo da aplicação "Hórus Nav".....	58
Figura 22 – Projeto de interface da página inicial.....	59
Figura 23 - Interface em dispositivos móveis	60
Figura 24 - Tela inicial implementada.....	61
Figura 25 - Mapa gerado para visualização	62
Figura 26 - Rota gerada considerando apenas a distância	64
Figura 27 - Rota otimizada de acordo com atributos mapeados	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tarefas da leitura de mapas - Navegação	17
Quadro 2 - Atributos mapeados	41
Quadro 3 – Linguagem Cartográfica	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Trecho da tabela ways	45
Tabela 2 - Estrutura inicial para nota.....	47
Tabela 3 - Estrutura inicial para bonificações e descontos	47
Tabela 4 - Estrutura de nota atualizada em conjunto com usuários.....	49
Tabela 5 - Estrutura de bonificações e descontos atualizada em conjunto com os usuários	49
Tabela 6 – Recorte da tabela de dados brutos.....	66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	19
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo geral	20
1.2.2 Objetivos específicos.....	21
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 MOBILIDADE URBANA	22
2.2 ACESSIBILIDADE	23
2.3 INFRAESTRUTURA E EQUIPAMENTOS URBANOS PARA A MOBILIDADE E ACESSIBILIDADE PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL	26
2.4 CARTOGRAFIA VOLTADA À ACESSIBILIDADE E O MAPEAMENTO COLABORATIVO	28
2.5 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES EXISTENTES.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1 DELINEAMENTO DO PROJETO	32
3.2 ÁREA DE ESTUDO.....	33
3.3 MATERIAIS	34
3.4 PROJETO DE SISTEMA.....	35
3.5 BASE DE DADOS	37
3.5.1 MAPEAMENTO DE GEOMETRIAS	37
3.5.2 MAPEAMENTO DE ATRIBUTOS	41
3.6 REDE DE ROTEAMENTO E ROTA.....	43
3.6.1 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DE PESOS	46
3.7 DESENVOLVIMENTO COM PYTHON E DJANGO	50
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	52
4.1 PROJETO CARTOGRÁFICO E MODELAGEM DO SISTEMA	52
4.2 ARQUITETURA DA APLICAÇÃO	56
4.3 PROJETO DE INTERFACE	57
4.4 FUNCIONAMENTO DA APLICAÇÃO E A ROTA OTIMIZADA	61
4.4.1 COMPARAÇÃO ENTRE ROTAS	63
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69

REFERÊNCIAS.....	70
APÊNDICE 1 – ROTEIRO PARA PRIMEIRA REUNIÃO	72
APÊNDICE 2 – FORMULÁRIO PARA SEGUNDA REUNIÃO	73
APÊNDICE 3 – DIAGRAMA DE CASOS DE USO	74
APÊNDICE 4 – DIAGRAMA DE CLASSES	75

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2010, 18,6% da população brasileira possui algum tipo de deficiência visual. Desse total, 6,5 milhões apresentam deficiência visual severa, sendo que 506 mil têm perda total da visão (0,3% da população) e 6 milhões, grande dificuldade para enxergar (3,2%). Esta população por sua vez enfrenta uma série de dificuldades no dia a dia, desde atividades mais complexas como dirigir, para deficiências visuais leves ou moderadas, até atividades mais simples do cotidiano, como o próprio deslocamento a pé, para aqueles com deficiência visual severa.

Uma dificuldade enfrentada diariamente e que afeta diretamente a vida dessas pessoas são as limitações de mobilidade e deslocamento dentro das cidades, seja a pé ou utilizando o transporte coletivo, a falta de infraestrutura, falta de acessibilidade e ainda a escassez de ferramentas para mitigar o problema são os principais causadores da desigualdade vivenciada pelas pessoas com deficiência visual. O problema se agrava quando no tocante à caminhabilidade, em especial, pessoas com deficiência visual sofrem ao fazer uso de ferramentas que foram criadas sem levá-los em consideração, ferramentas que muitas vezes não são suficientes para atender às suas necessidades, pois existe um considerável déficit de infraestrutura e serviços adaptados à acessibilidade.

Historicamente, os mapas, em especial os mapas de referência, são ferramentas que proporcionam a localização, orientação e criação de rotas (BOARD, 1978). As civilizações antigas já utilizavam mapas deste antes da invenção da escrita, seja para representar os lugares em que viviam ou os lugares por onde passavam. Ainda na antiguidade, o mapa foi além de ser uma ferramenta de orientação e localização para se tornar uma peça fundamental na expansão das civilizações, tanto em seu desenvolvimento, quanto no acesso à informação, de modo que muitos anos foram necessários para que o mapa se tornasse tão comum quanto nos dias atuais.

Quando se trata do uso dos mapas, as possibilidades são diversas, na atualidade os mapas são utilizados para vários propósitos, porém é na navegação que se concentra este trabalho. O autor Board (1978) define as tarefas de leituras de mapas em três níveis de complexidade; navegação, medida e visualização, o autor descreve a navegação como o primeiro e mais simples nível das tarefas de leitura de mapas, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Tarefas da leitura de mapas - Navegação

Tarefas da leitura de mapa	Navegação
	Procurar
	Identificar e localizar sua posição no mapa
	Orientar-se
	Procurar a rota ideal no mapa
	Procurar pontos de referência na rota
	Reconhecer pontos de referência de caminho
	Procurar destino
	Reconhecer destino
	Verificar

Fonte: Adaptado de Board (1978)

Segundo a Associação Internacional da Cartografia (ICA) um mapa é uma representação simbolizada da realidade geográfica, representando feições ou características selecionadas, resultantes do esforço criativo da execução de escolhas de seu autor, e é projetado para uso quando as relações espaciais são de importância primordial.

As tarefas descritas por Board podem ser realizadas diretamente por pessoas sem nenhum tipo de deficiência, porém pessoas com deficiência visual não conseguem realizar essas tarefas naturalmente, pois necessitam de adaptações do conteúdo do mapa, dos algoritmos que geram os *web* mapas e ainda da forma de acesso ao mapa. Tais adaptações são possíveis utilizando diferentes tipos de interface, usualmente as informações do mapa são representadas em interface visual, mas algumas informações podem ser apresentadas em interfaces de voz (VUI) por exemplo, nessas interfaces os sistemas são capazes de identificar e interpretar a fala, criando assim uma comunicação não visual e sim auditiva entre o usuário e o sistema.

A tecnologia proporcionou ao longo do tempo algumas dessas adaptações, porém existe ainda um *déficit* significativo quando o assunto são soluções voltadas para navegação da população com deficiência visual, principalmente quando se trata de caminhabilidade. Para isto, compreender o termo mobilidade urbana e sua relação com o termo acessibilidade é fundamental para a criação de políticas públicas

direcionadas a melhorar a qualidade de vida da população cega ou de baixa visão e também para a criação de mapas e ferramentas que permitam atingir este objetivo.

Segundo Alves (2007), o termo “mobilidade” vem do latim “*mobilitate*”, que significa a qualidade ou estado daquilo que é móvel ou que obedece às leis do movimento. O mesmo autor destaca que o termo “acessibilidade” vem do latim “*accessibilitate*”, e está estritamente relacionado à qualidade de algo em ser acessível, logo, ao unir esses dois conceitos é possível compreender a relação de dependência estabelecida entre mobilidade e acessibilidade. Neste sentido, para pessoas com deficiência visual essa relação de dependência se torna fundamental na qualidade de vida, de modo que, sem acessibilidade a sua mobilidade se torna restrita e em muitos casos a falta de acessibilidade pode até mesmo impedir a mobilidade dessas pessoas, e deixa de se cumprir um direito fundamental do cidadão.

Direitos fundamentais são os direitos considerados indispensáveis à pessoa humana, estes são necessários para garantir a qualquer pessoa uma vida digna, livre e igual. Deste modo não basta ao estado reconhecer estes direitos, deve-se buscar concretizá-los (PINHO, 2006).

Deste modo, cabe ao estado a responsabilidade de implementar a acessibilidade para garantir o direito fundamental de ir e vir previsto pela constituição federal.

CAPÍTULO I

DOS DIREITOS E DEVERES INDIVIDUAIS E COLETIVOS

Art. 5º Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade, nos termos seguintes:

(...)

XV - e livre a locomoção no território nacional em tempo de paz, podendo qualquer pessoa, nos termos da lei, nele entrar, permanecer ou dele sair com seus bens;

(Constituição federal, 1988)

Como estabelecido pela Constituição (Brasil, 1988), qualquer pessoa pode se locomover livremente em todo território nacional e como direito fundamental o estado deve assegurar de que todos possam exercer seus direitos.

1.1 JUSTIFICATIVA

“A qualidade de vida é um conceito de amplo alcance afetado de um modo complexo não só pela saúde física, como também pelo estado psicológico, nível de independência, relações sociais e fatores ambientais” (C.B.A Rebouças, 2016). A partir da definição dada por Rebouças pode-se perceber que as pessoas com deficiência visual têm sua qualidade de vida reduzida por diversos fatores.

Os cegos são indivíduos que perderam totalmente a visão de forma congênita ou adquirida (FUNDAÇÃO DORINA, 2015), estes indivíduos precisam se adaptar para conseguirem atingir algum nível de qualidade de vida enquanto vivem em sociedade. Porém para a realização de uma série de tarefas estes enfrentam a dependência de outras pessoas. Para que eles tenham o direito de ir e vir, ao longo do tempo, uma série de adaptações foram realizadas, tanto na legislação como na própria infraestrutura. Visando auxiliar a adaptação das pessoas com deficiência visual, na questão da infraestrutura foram adotadas medidas como a implantação de elementos como: piso tátil sinalizando calçadas, travessias e edificações urbanas; a adequação do mobiliário urbano à padrões específicos; a sinalização de travessias de ruas; a implementação de recursos sonoros de alerta em semáforos e no transporte público (Felicetti, 2016).

No âmbito dos esforços realizados na Cartografia, tem-se a criação do conceito de Cartografia Tátil, que é o ramo específico da Cartografia, que se ocupa da confecção de mapas e outros produtos cartográficos que possam ser lidos por pessoas cegas ou com baixa visão (Loch, 2008). Ainda segundo Loch (2008), os produtos da cartografia tátil podem ser enquadrados como recursos da Tecnologia Assistiva, considerados assim por auxiliarem a promover a independência de mobilidade e ampliar a capacidade intelectual de pessoas cegas ou com baixa visão. Em suma, tecnologia assistiva é o termo utilizado para identificar todo o arsenal de recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades

funcionais de pessoas com deficiência e, conseqüentemente, promover vida independente e inclusiva.

No início da era digital começam a surgir diversas ferramentas direcionadas à acessibilidade de pessoas com deficiências visuais. Segundo Kocaman (2020) com o rápido desenvolvimento das tecnologias geoespaciais, analisar os fatos geográficos e entender as necessidades da sociedade tornou-se ainda mais viável. Exemplos disso são as ferramentas *TalkBack* para dispositivos Android e o *VoiceOver* para dispositivos IOS. Quanto à cartografia, de modo geral, os mapas digitais também receberam recursos tecnológicos em termos de mobilidade e acessibilidade, ao sugerir algumas integrações de sistemas que possibilitam narrar rotas, o que se tornou muito útil para pessoas com deficiência visual. Porém, segundo Dornhofer (2014) existem alguns sistemas de navegação para usuários cegos disponíveis no mercado, mas nenhum sistema faz muito uso de dados adicionais para usuários cegos, um segundo impasse nas soluções do mercado é que em sua maioria são sistemas de código fechado.

Nesse sentido, uma aplicação de roteamento para pessoas com deficiência visual, em código aberto e que seja alimentada somente por dados abertos, poderia solucionar parte dos problemas relacionados à mobilidade e mais especificamente à caminhabilidade de pessoas com deficiência visual. Além de viabilizar estudos futuros visando o aprimoramento da ferramenta ou introduzir novos recursos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

A finalidade deste estudo é desenvolver o Hórus Nav, uma aplicação web responsiva e de código aberto, com foco em auxiliar a navegação *outdoor* de pessoas com deficiência visual parcial ou total. O sistema é baseado em mapeamento colaborativo, tanto da parte da plataforma OpenStreetMap, quanto na possibilidade de mapeamento de barreiras temporárias na própria aplicação.

O sistema proposto é um projeto piloto e deve ser capaz de gerar rotas otimizadas para pessoas com deficiência visual que considerem atributos das calçadas em sua geração.

1.2.2 Objetivos específicos

Dentro de um escopo maior de desenvolvimento ficam estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- .a Definir as necessidades dos usuários e criar o projeto de sistema;
- .b Preparar os dados da Plataforma OSM com as informações necessárias para criação da rede de roteamento;
- .c Definir uma estrutura de notas funcional para o refinamento da rota;
- .d Desenvolver a aplicação de maneira responsiva.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MOBILIDADE URBANA

De acordo com o “PlanMob”, uma referência para a elaboração do plano de mobilidade urbana do ministério das cidades de 2007 e posteriormente ancorado sobre a lei Nº 12.587 de 2012, “A mobilidade é um atributo das cidades e se refere à facilidade de deslocamento de pessoas e bens no espaço urbano. Tais deslocamentos são feitos através de veículos, vias e toda a infraestrutura...É o resultado da interação entre os deslocamentos de pessoas e bens com a cidade”. Logo, pode se perceber que a mobilidade dentro deste conceito de atributo pode ser mensurada por meio de diversos elementos e a integração entre esses elementos. Para Terán (2013, Pág.21) estes elementos são um fenômeno de característica multidimensional, pois a mobilidade urbana pode ser entendida como o resultado da interação de vários sistemas que dão vida à cidade, sistema de circulação, de transportes de passageiros, sistema de transporte de cargas, logística, sistema de habitação, sistema de infraestrutura, todos eles interagindo entre si.

A mobilidade urbana é fundamentada em diferentes maneiras de locomoção, desde os modos motorizados como carros, transporte coletivo, por ônibus, trem ou metrô, até os não motorizados, como bicicleta e o próprio deslocamento a pé, além de mensurar a forma que essas possibilidades de locomoção interagem com a infraestrutura da cidade e qual a facilidade de realizar os deslocamentos. De modo geral, se o deslocamento existe, mas é difícil ou complicado, pela definição dada pelo ministério das cidades isso implica na qualidade da mobilidade.

Segundo o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP) (2018) a mobilidade urbana quando analisada pela perspectiva do pedestre assume o conceito denominado caminhabilidade, que foca nas condições do espaço urbano vistas sob a ótica do pedestre. A caminhabilidade pode ser definida como a medida em que as características do ambiente urbano favorecem os deslocamentos a pé, ela compreende aspectos relacionados às condições e dimensões das calçadas e cruzamentos, a atratividade e densidade da vizinhança, a percepção de segurança pública, as condições de segurança viária e quaisquer outras características do ambiente urbano que tenham influência na motivação para as pessoas andarem com mais frequência e utilizarem o espaço urbano. Como forma de mensurar a

caminhabilidade foi criado em 2016 o índice de caminhabilidade (iCam), este foi adaptado em 2018, a partir da parceria entre o ITDP e o IRPH, são ao todo 21 indicadores, aos quais são atribuídos um sistema de pontuação que permite por fim avaliar a caminhabilidade em determinado trajeto e ou região.

2.2 ACESSIBILIDADE

De acordo com a definição presente na lei nº10.098/2000:

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

Conforme descrito na referida lei, a acessibilidade diz respeito a utilização com segurança e autonomia dos diversos espaços mencionados, para Manzini (2015) “acessibilidade se sedimenta em situações que podem ser vivenciadas nas condições concretas da vida cotidiana, ou seja, a acessibilidade parece ser algo que pode ser observado, implementado, medido, legislado e avaliado. Dessa forma, pode-se criar condições de acessibilidade para que as pessoas possam ter acesso a determinadas situações ou lugares.”

Manzini (2015) menciona que acessibilidade é algo que pode ser legislado e avaliado, no Brasil a legislação é dada pelo Decreto de lei nº 5.296 e recentemente um acordo de cooperação entre o Governo Federal e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) com período de vigência de Jan-2020 a Dez-2022 tem como um dos objetivos principais estimar indicadores de acessibilidade para alimentar o Sistema de Informações em Mobilidade Urbana (SIMU), consequentemente os ideais do autor estão sendo aplicados numa visão moderna de acessibilidade.

A Organização das Nações Unidas (ONU) criou uma agenda mundial durante a cúpula das nações unidas em 2015 sobre o desenvolvimento sustentável, os chamados Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) composto por 17 objetivos (Figura 1) e 169 metas que devem ser implementados até 2030 em todos os países.

Figura 1 - ODS da ONU



Fonte: ONU (2015)

Dentro das metas estabelecidas pela ONU existem várias referências diretas a pessoas com deficiência, dentro do objetivo 11 “Cidades e Comunidades sustentáveis”, a meta 11.7 objetiva até 2030, proporcionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes, particularmente para as mulheres e crianças, pessoas idosas e pessoas com deficiência (ONU, 2015).

No âmbito da comunicação em 1825 foi criado por Louis Braille o sistema de escrita tátil braile. Conforme Figura 2.

Figura 2 - Alfabeto Braile

a/1	b/2	c/3	d/4	e/5	f/6	g/7	h/8	i/9	j/0
u	v	x	y	z					w

Fonte: Dicionário Aulete (2019)

Através dos tempos, o sistema de escrita tátil braile foi adaptado a diferentes idiomas e foi incorporado aos mais diversos sistemas, desde máquinas de escrever até teclados modernos.

Para atender as metas propostas, diversos países mudaram a sua forma de enxergar acessibilidade, e adotaram então as políticas públicas inclusivas. No Brasil está em vigor desde dezembro de 2004, a Lei de Acessibilidade – Decreto de lei nº 5.296 que regulamenta uma série de iniciativas necessárias para promover não somente a inclusão das Pessoas Com Deficiência (PCD), bem como garantir a locomoção e acessibilidade de todos os cidadãos. Além do decreto de lei nº 5.296, existe ainda a norma NBR/ABNT 9050 (2020) proposta pela Associação Brasileiras de Normas Técnicas que estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quanto ao projeto, construção, instalação e adaptação do meio urbano e rural, e de edificações às condições de acessibilidade, um dos objetivos da norma é ainda proporcionar a utilização de maneira autônoma, independente e segura do ambiente, edificações, mobiliário, equipamentos urbanos e elementos à maior quantidade possível de pessoas, independentemente de idade, estatura ou limitação de mobilidade ou percepção.

A NBR 9050 (2020) aborda ainda alguns complementos fundamentais relacionados à acessibilidade como o conceito de Rota Acessível:

A rota acessível é um trajeto contínuo, desobstruído e sinalizado, que conecta os ambientes externos e internos de espaços e edificações, e que pode ser utilizada de forma autônoma e segura por todas as pessoas. A rota acessível externa incorpora estacionamentos, calçadas, faixas de travessias de pedestres (elevadas ou não), rampas, escadas, passarelas e outros elementos da circulação. A rota acessível interna incorpora corredores, pisos, rampas, escadas, elevadores e outros elementos da circulação. (NBR 9050:2020).

As rotas acessíveis são fundamentais e devem ser dotadas de infraestrutura para os trajetos de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida. Elas devem ser empregadas nas áreas de qualquer espaço e edificações de uso público ou coletivo, atendendo-se aos diversos critérios e parâmetros relacionados à mobilidade e acessibilidade.

2.3 INFRAESTRUTURA E EQUIPAMENTOS URBANOS PARA A MOBILIDADE E ACESSIBILIDADE PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

Para que se possam exercer os direitos humanos em plenitude, as cidades devem possuir um sistema de infraestrutura funcional, de acordo com PUPPI (1981) esse sistema geral de infraestrutura é construído a partir do bom funcionamento de outros subsistemas: subsistema viário, subsistema de drenagem pluvial, subsistema de abastecimento de água, subsistema energético e subsistema de comunicação. Para que a cidade possa ter boa infraestrutura todos os subsistemas devem funcionar, porém o funcionamento desses sistemas não garante acessibilidade.

Nóbrega et al (2012) afirmam “a infraestrutura urbana tem como objetivo prestar serviços à sociedade, pois, pelo fato de ser um sistema técnico, requer algum tipo de operação e algum tipo de relação com o usuário.” Para que isso ocorra o subsistema viário necessita de uma série de equipamentos públicos para garantir seu funcionamento: vias em boas condições, placas de sinalização, quebra-molas, ciclovias, calçadas, semáforos, faixas de pedestres, travessias elevadas, dentre outros equipamentos públicos necessários. Os equipamentos públicos devem favorecer toda a população, portanto estes equipamentos precisam ser pensados de maneira acessível considerando toda a população de pessoas com algum tipo de deficiência. Esse pensamento leva a criação de equipamentos urbanos adaptados, como a existência de rampas de acesso (Figura 3).

Figura 3 - Exemplo de rampa de acesso



Fonte: OSM WIKI (2022)

Além das rampas de acesso, os cadeirantes devem contar com uma largura mínima para as calçadas, a NBR 9050 (2020) especifica as larguras necessárias para deslocamento em linha reta, largura para deslocamento em curva de 90°, largura para deslocamento em curva de 180°, além de regulamentar uma série de outras especificações para equipamentos públicos.

Quando se fala de deficiência visual, os equipamentos urbanos tornam-se mais do que elementos indispensáveis para a garantia dos direitos fundamentais, tornando-se uma questão de segurança à vida. A necessidade, por exemplo, da implementação do piso tátil nas calçadas (Figura 4), vai além da função de orientação, ela serve para, por exemplo: alertar sobre barreiras na calçada; começo e término de cruzamentos, mudança de direção e sinalização da entrada para edificações.

Figura 4 - Exemplo de piso tátil



Fonte: Adobe Stock (2020)

A falta da sinalização tátil em cruzamentos, pode inferir as pessoas com deficiência visual em não saber onde termina a calçada e onde inicia o cruzamento, colocando assim sua segurança em risco, além da sinalização tátil existem outros equipamentos públicos que podem ser adaptados para pessoas com deficiência

visual, os semáforos podem receber uma adaptação sonora, para que seja possível saber quando é permitido realizar a travessia em segurança.

Além dos equipamentos urbanos como ferramentas de acessibilidade, existem outros equipamentos urbanos que podem se tornar barreiras no deslocamento de pessoas com deficiência visual, por exemplo: placas, postes e lixeiras, estes equipamentos urbanos fazem parte da infraestrutura das cidades e torna-se fundamental conhecer sua posição para evitar colisões.

2.4 CARTOGRAFIA VOLTADA À ACESSIBILIDADE E O MAPEAMENTO COLABORATIVO

A evolução tecnológica proporcionou um avanço significativo em diversas áreas do conhecimento, na cartografia as tecnologias geoespaciais têm sido impactadas pela criação de novas tecnologias.

As tecnologias geoespaciais são amplamente utilizadas, graças a sensores e serviços móveis de geolocalização e possibilidades de compartilhamento de dados online. As tecnologias de geoinformação têm sido tradicionalmente usadas em aplicações como mapeamento, planejamento urbano e rural e construção, mas hoje em dia as áreas de aplicação foram expandidas para resolver problemas modernos como condução autônoma, navegação móvel (interior e exterior), edifícios inteligentes, patrimônio cultural documentação, aplicativos avançados de modelagem ambiental, saúde e aplicativos de cidade inteligente (Kocaman, 2020).

Essa combinação entre cartografia e tecnologia exerce papel fundamental no desenvolvimento de tecnologias assistivas, essas tecnologias por sua vez são necessárias para minimizar as desigualdades vivenciadas por pessoas com algum tipo de deficiência.

Para criar sistemas que fazem uso da geoinformação são necessários dados, esses dados podem ter diversas origens: cartas topográficas, levantamentos cadastrais, imagens de satélite, entre outros, porém em muitos casos estas informações são restritas ou de difícil acesso. O mapeamento colaborativo surge como uma alternativa onde os usuários são os autores da informação adicionada, essas informações podem ser adicionadas e consumidas sob uma licença aberta.

Atualmente existem diversas plataformas de mapeamento colaborativo, algumas iniciativas são destinadas a temas específicos como segurança pública, turismo, comércio entre outros. Além destas, existem outros sistemas que também integram funções de mapeamento colaborativo, como é o caso do “Waze” um aplicativo *mobile* de navegação que incorpora diversos elementos do mapeamento colaborativo para atualizar as informações sobre as rotas.

Machado e Camboim (2019) descrevem o OpenStreetMap (OSM) como uma das plataformas de mapeamento colaborativo que mais se destaca, isso ocorre devido aos mais de 8 milhões de usuários e ao fato de ter toda sua estrutura de dados e componentes bem documentados e acessíveis na internet, com a proposta de armazenar informações de referência com lógica similar ao conceito de mapeamento de referência tradicional. O OSM é estruturado como um mapa de referência e sua estrutura possibilita funções de navegação, além de sua caracterização de elementos por chaves e valores permitir filtrar de diversas maneiras os dados a serem utilizados. Devido a todas essas funcionalidades e por se tratar de uma ferramenta gratuita, o OSM, vem sendo empregado em diversos estudos como principal ferramenta para o fornecimento de dados espaciais.

A utilização do OSM no desenvolvimento dessas aplicações é fundamental para caracterizar o mapeamento colaborativo como uma ferramenta de inclusão social, pois os usuários de modo geral podem contribuir com a base de dados atualizando e inserindo novos dados. No Hórus Nav a sociedade age como um ator essencial na identificação dos problemas presentes nas rotas e no mapeamento das informações necessárias, esta visão colaborativa é fundamental para que o Hórus Nav atinja sua função.

2.5 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES EXISTENTES

Aplicações de roteamento ou navegação para usuários com deficiência visual tem sido objeto de estudo há vários anos, Kammoun (2010) propôs um sistema que selecionasse a melhor rota considerando a existência de calçadas, a largura das calçadas, existência de travessia de pedestres e o comprimento, Kammoun criou o sistema “NAVIG” (Figura 5) e definiu uma estrutura de custo utilizando um sistema de pontuação, o objetivo era utilizar o algoritmo Dijkstra para gerar a rota com a menor pontuação global possível. O sistema “NAVIG” utiliza dados GPS e integra visão

computacional para identificar pontos de interesse durante o trajeto e melhorar o posicionamento do usuário.

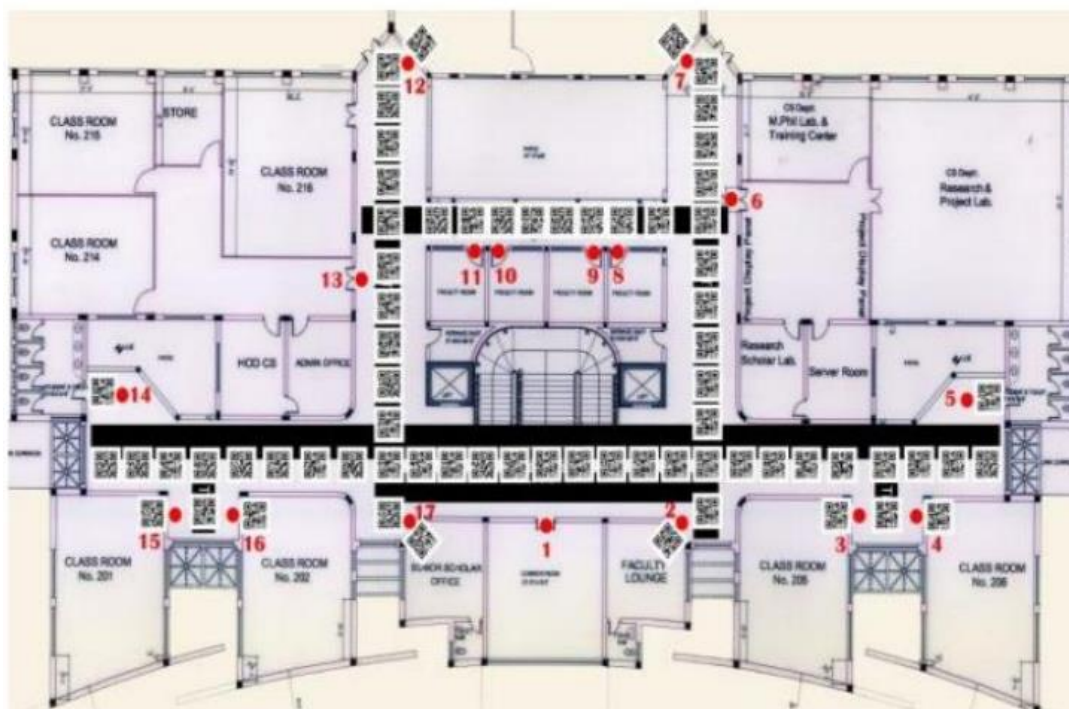
Figura 5 - Protótipo NAVIG



Fonte: Kammoun (2010)

Em 2015 Affan Idrees, Zahid Iqbal e Maria Ishfaq na Universidade de Gujrat no Paquistão propuseram um sistema de navegação para pessoas com deficiência visual, denominado de “*Blind navigation*” (Figura 6), o sistema proposto é um aplicativo que permite a utilização de *smartphones android* para navegação em ambientes internos utilizando códigos QR. Para o funcionamento dessa ferramenta os códigos QR são colocados nas seções do piso após uma distância específica, assim sempre que o usuário faz a leitura de um código QR, ele recebe informações da localização atual e deve informar seu destino, com isso, a aplicação oferece o caminho mais curto utilizando algoritmos de roteamento.

Figura 6 - Exemplo de implementação - Blind Navigation



Fonte: Idrees (2015)

Os autores descrevem a aplicação como uma solução que visa oferecer suporte tecnológico sem visão para pessoas cegas passearem e visitarem locais específicos com orientação adequada ao longo do caminho gerado dentro de casa.

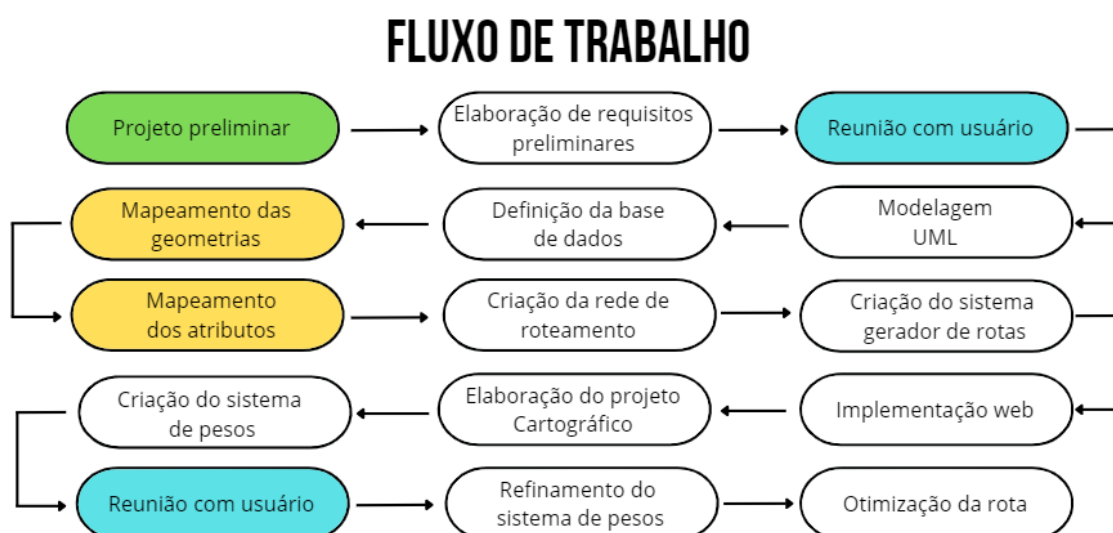
O uso de dados do OpenStreetMap para geração de rotas otimizadas também é objeto de estudos, Cohen e Dalyot (2020) propõem uma metodologia de dados do OSM a serem utilizados para calcular a estrutura de pesos para utilizar algoritmo Dijkstra, a metodologia proposta consiste em utilizar o comprimento da via, a existência de pontos de referência, número de curvas em um determinado trajeto, tipos de vias e a existência de sinais sonoros em semáforos, as validações apresentadas por Cohen e Dalyot mostram que pedestres com deficiência visual que experimentaram rotas otimizadas relatam uma melhor experiência ao percorrer essas rotas em comparação com rotas rápidas de algoritmos tradicionais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DELINEAMENTO DO PROJETO

Para realização do projeto, uma série de etapas correlacionadas foi necessária, desde o levantamento de requisitos e a criação da base até a criação e otimização da rota considerando os atributos mapeados, a figura 7 apresenta o fluxo das atividades realizadas.

Figura 7 - Fluxo de trabalho



Fonte: O autor (2022)

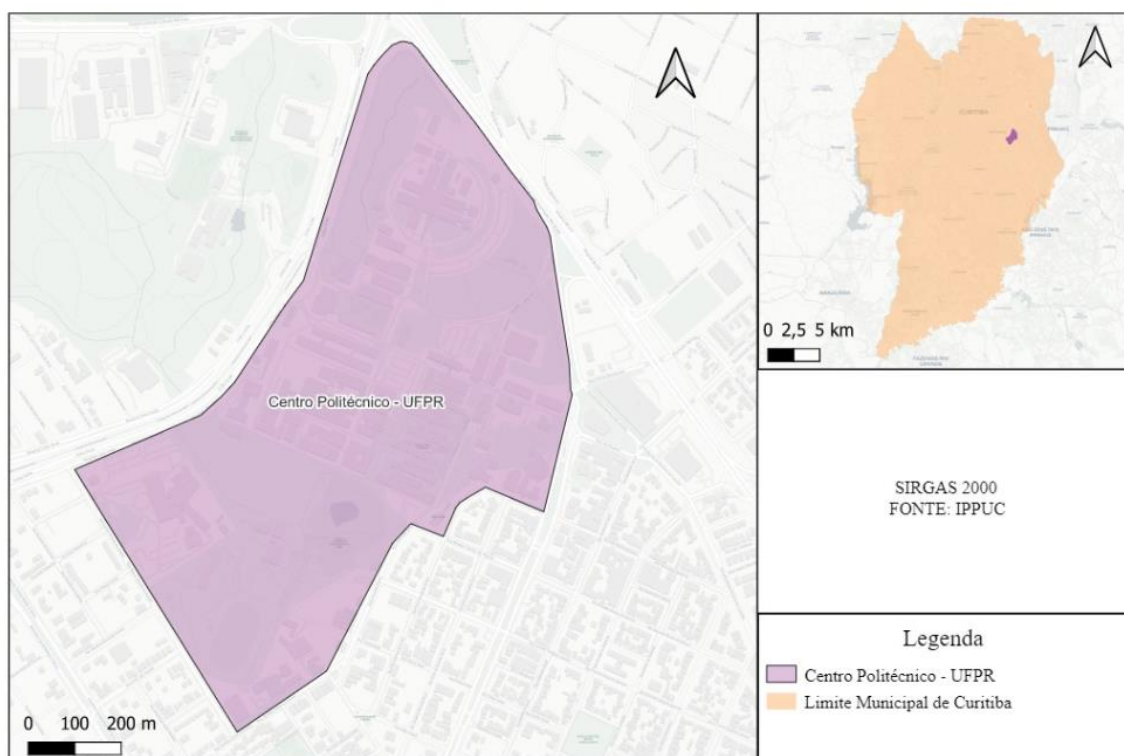
Na etapa inicial, o projeto preliminar permite levantar as informações necessárias sobre os usuários e suas necessidades, posteriormente os requisitos preliminares são definidos e em conjunto com os usuários estes são otimizados, após compreender as necessidades dos usuários pode ser definida a estrutura do banco de dados do projeto, nesta etapa foram definidas as geometrias fundamentais na elaboração do projeto, bem como os respectivos atributos a serem mapeados. Com as geometrias foi possível criar a parte do sistema responsável por gerar as rotas não otimizadas, por fim uma estrutura de pesos para os atributos foi criada e refinada em

conjunto com os usuários, essa estrutura permite realizar a otimização das rotas modificando seu parâmetro de custo, a rota otimizada pode pôr fim ser validada.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para realizar a implementação deste protótipo foi o Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná no município de Curitiba, o campus foi escolhido devido ao grande número de feições já mapeadas existentes. Além de ser um local conhecido e de fácil acesso e facilitando assim o mapeamento das geometrias e atributos das calçadas que não estavam presentes no banco de dados do “OpenStreetMap”. A figura 8 apresenta a área considerada para o estudo.

Figura 8 - Área de estudo



Fonte: O Autor (2022)

O campus está localizado no bairro Jardim das Américas, contando com uma alta densidade de pedestres devido ao fluxo intenso de alunos, docentes e servidores que circulam pelo local, por mais que seja possível se deslocar pelo campus de carro, a grande maioria dos deslocamentos ocorre a pé, de modo que as pessoas estão em

constante contato com a infraestrutura de mobilidade, o que torna o campus um excelente local para o estudo.

O campus da Universidade Federal como área de estudo para o desenvolvimento do Hórus Nav é fundamental no empoderamento do direito à educação para usuários com deficiência visual, esse direito é consagrado na declaração dos direitos humanos, confirmado na declaração de Salamanca e nas políticas públicas educacionais (SGANZERLA, 2013). Portanto mapear os recursos necessários no Centro Politécnico para o desenvolvimento do Hórus Nav é uma iniciativa para garantir o direito à educação de todos os estudantes com deficiência visual do campus.

3.3 MATERIAIS

Para o desenvolvimento deste projeto foram utilizados dados abertos disponíveis gratuitamente, também foram utilizadas ferramentas de software livre, com exceção da API de geocodificação do Google Maps, que é uma API paga, neste caso foi utilizado o saldo disponibilizado para testes que pode ser utilizado gratuitamente. As ferramentas utilizadas neste estudo foram:

- OpenStreetMap - Plataforma de mapeamento colaborativo, disponível em: <https://www.openstreetmap.org/>;
- LucidChart - Ferramenta para criação de diagramas de modelagem UML, disponível em: <https://lucid.co>;
- OMTG-Designer - Ferramenta para criação de diagramas de modelagem UML, disponível em: <http://aqui.io/omtg/#>;
- OsGeoLive - Máquina virtual direcionada ao uso ferramentas geoespaciais, disponível em: <https://live.osgeo.org/en/index.html>;
- Oracle VM VirtualBox - Ferramenta de virtualização responsável por emular dispositivos, disponível em: <https://www.virtualbox.org>;
- Django - Framework python direcionado a criações web, disponível em: <https://www.djangoproject.com>;
- OpenLayers - Biblioteca JavaScript para criação de mapas, disponível em: <https://openlayers.org>;

- PostgreSQL/PostGIS - Sistema gerenciador de banco de dados, foi utilizado sua extensão PostGIS para trabalhar com dados espaciais, disponível em: <https://postgis.net>;
- Geoserver - Software livre, que permite o desenvolvimento de soluções de Webmapping, disponível em: <https://geoserver.org>;
- QGIS - Software livre para ferramentas de SIG (Sistema de Informações Geográficas), disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/;
- Overpass Turbo - Ferramenta web responsável por executar uma solicitação de dados para download da base de dados do OpenStreetMap, disponível em: <https://overpass-turbo.eu>;
- Python - Linguagem de programação orientada a objetos;
- HTML5 - Linguagem de programação para estruturas de páginas WEB;
- JavaScript - Linguagem de programação para a criação de páginas WEB;
- CSS - Linguagem de programação para criação de estilos para páginas WEB;
- GoogleCloudPlatform - Plataforma do Google onde estão disponíveis API's para recursos presentes em ferramentas como o google maps, foi utilizado o saldo gratuito, disponível em: <https://cloud.google.com/>;
- Nicepage – Ferramenta para criação de *layouts* de páginas web, disponível em: <https://nicepage.com>.

3.4 PROJETO DE SISTEMA

Para realização do projeto do sistema proposto foi utilizada a modelagem UML ou Linguagem Unificada de Modelagem, UML é uma linguagem gráfica para visualização, especificação, construção e documentos de artefatos de sistemas complexos de software (Booch et al, 2005). A modelagem é peça fundamental na criação de sistemas, pois permite compreender o funcionamento do sistema, bem como as interações que irão ocorrer com ele e permite avaliar possíveis erros e riscos no desenvolvimento.

A modelagem UML deve seguir uma sequência lógica de passos fundamentais que contemplam os principais elementos da modelagem como a forma

qual o usuário interage com o sistema e modelagem das classes que compõem o sistema.

Figura 9 - Passos da modelagem UML



Fonte: Larman (2007)

A figura 9 descreve os passos indicados por Larman (2007) da seguinte forma: na primeira etapa são criadas as narrativas ou cenários sobre como as pessoas usam a aplicação; na segunda etapa é a criação do modelo de domínio que mostra conceitos e objetos de interesse; na terceira etapa são definidos os diagramas de interação ou diagramas de sequência que mostram o fluxo de mensagens entre os objetos; por fim a quarta e última etapa permite visualizar os atributos e métodos de cada classe do sistema.

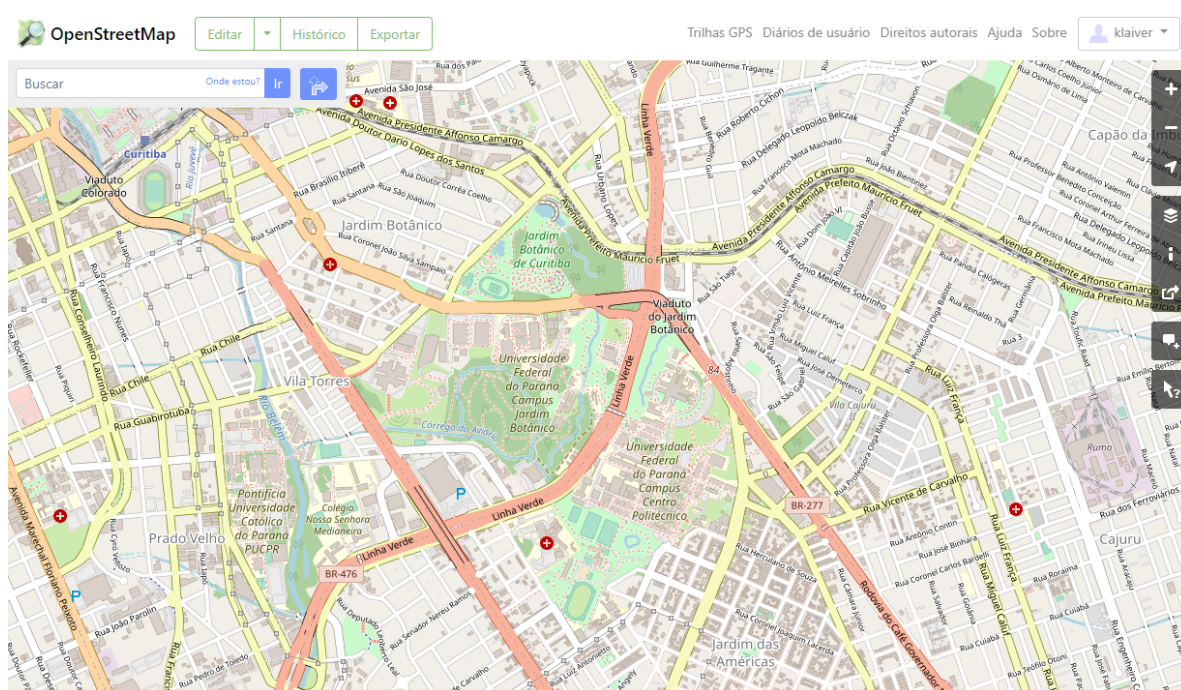
Uma modelagem inicial do sistema foi realizada previamente, e posteriormente otimizada após uma reunião com um usuário do sistema (pessoa com deficiência visual), esta reunião ocorreu no dia 18/03, a reunião seguiu um roteiro pré estabelecido (apêndice 1) e nela foi apresentado a ideia do projeto e foram debatidos tópicos como: as principais dificuldades das pessoas com deficiência visual ao realizar trajetos conhecidos e trajetos desconhecidos, quais ferramentas são utilizadas atualmente quando o assunto é o deslocamento, como funciona a interação das pessoas com deficiência visual com seu *smartphone* dentre outros tópicos abordados.

Este contato proporcionado pela Fundação de Atendimento ao Deficiente e ao Superdotado do Rio Grande do Sul (FADERS) foi fundamental na elaboração dos requisitos do sistema e também das interações entre o usuário e o sistema.

3.5 BASE DE DADOS

Para criação da base de dados da rede de roteamento e das barreiras, inicialmente foi realizada uma etapa de mapeamento colaborativo, utilizando o OpenStreetMap (Figura 10). O propósito em utilizar dados do OSM está em sua estrutura global de dados, que é capaz de viabilizar a execução deste estudo em qualquer outro lugar.

Figura 10 - Página inicial do OSM



Fonte: O autor (2022)

3.5.1 MAPEAMENTO DE GEOMETRIAS

A elaboração do levantamento das informações de calçadas e cruzamentos para compor a base de dados foi realizada em duas etapas em parceria com a turma do curso de engenharia civil, da disciplina de avaliação de impactos ambientais, que fazia um trabalho na disciplina sobre o levantamento de informações para relatório de impacto de tráfego, a primeira etapa consistiu no mapeamento das geometrias necessárias.

No OSM existem duas maneiras de mapear o item “calçadas”, a primeira delas consiste em mapear como um atributo da geometria das ruas, a segunda consiste em

mapear como uma geometria separada (Figura 11). Tendo em vista que o objetivo era criar uma rede de roteamento utilizando as geometrias das calçadas, optou-se por mapeá-las como geometrias separadas.

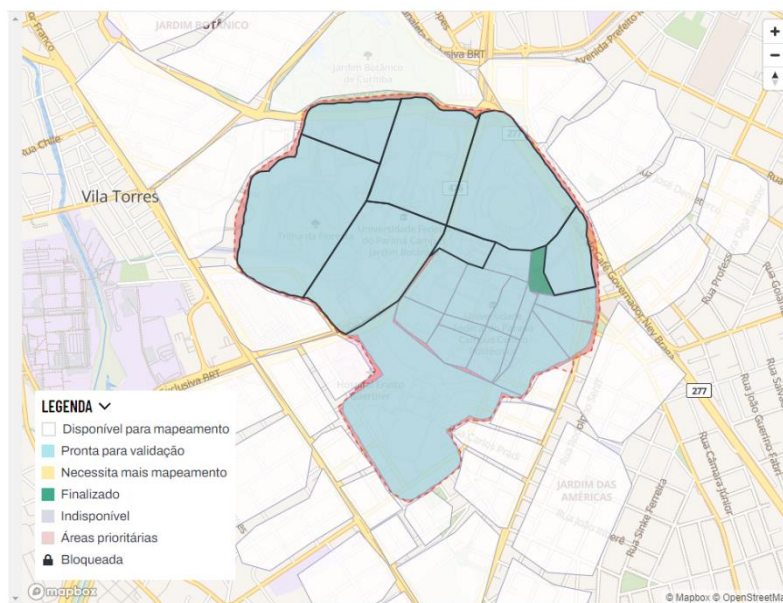
Figura 11 - Tipos de mapeamento de calçadas no OSM



Fonte: <https://wiki.openstreetmap.org>

Para realizar tal mapeamento no contexto do presente trabalho, a turma participou de uma oficina prática sobre “*OpenStreetMap*” e mapeamento de acessibilidade. Posteriormente, a turma realizou o mapeamento utilizando a plataforma “*TaskingManager*” (Figura 12) que permite criar um projeto e subdividir a área a ser mapeada.

Figura 12 - Subdivisão do Campus e adjacências no *Tasking Manager*



Fonte: Mapeadores Livres UFPR (2022)

Após a subdivisão das áreas, utilizando o editor “iD” do OSM, o mapeamento das geometrias seguiu o padrão estabelecido por Stuchi (2020), com as geometrias das calçadas representadas como geometrias do tipo linha, no eixo das calçadas, conforme Figura 13.

Figura 13 - Exemplo de geometria de calçada



Fonte: OSM (2022)

Para criar uma rede de roteamento utilizando as geometrias das calçadas é necessário que estas geometrias estejam conectadas, para isso é necessário obter a geometria do elemento que conecta os dois lados de uma calçada, ou seja, o cruzamento.

De acordo com Stuchi (2020) o mapeamento de cruzamentos deve seguir uma consistência topológica ideal de ser constituído por minimamente 5 pontos (nós) conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Exemplo de geometria de cruzamento



Fonte: OSM (2022)

- Ponto 1: Corresponde ao ponto inicial do cruzamento, sobre o eixo da calçada;
- Ponto 2: Corresponde ao ponto do cruzamento que toca o meio fio do lado inicial do cruzamento;
- Ponto 3: Corresponde ao ponto do cruzamento que toca o eixo da via;
- Ponto 4: Corresponde ao ponto do cruzamento que toca o meio fio do lado final do cruzamento;
- Ponto 5: Corresponde ao ponto final do cruzamento, sobre o eixo da calçada.

Esse conceito de mapeamento de travessias permite identificar os principais pontos de um cruzamento, isso é fundamental dentro da topologia do OpenStreetMap,

pois os nós podem receber atributos, o nó 2 e 4, por exemplo, deverão receber um atributo que corresponde a possibilidade da existência de rampas de acesso.

Demais elementos pontuais como árvores isoladas, placas, postes, artefatos de concreto também foram mapeados, utilizando a geometria de ponto simples.

3.5.2 MAPEAMENTO DE ATRIBUTOS

Além das geometrias que são os elementos fundamentais para otimizar a rota dentro da rede de roteamento, o mapeamento dos atributos foi realizado para a formulação de uma estrutura de pesos com objetivo de buscar uma rota otimizada, o quadro 2 apresenta os atributos mapeados por geometria, suas chaves e valores dentro do OSM. Estes valores serão classificados na estrutura de notas.

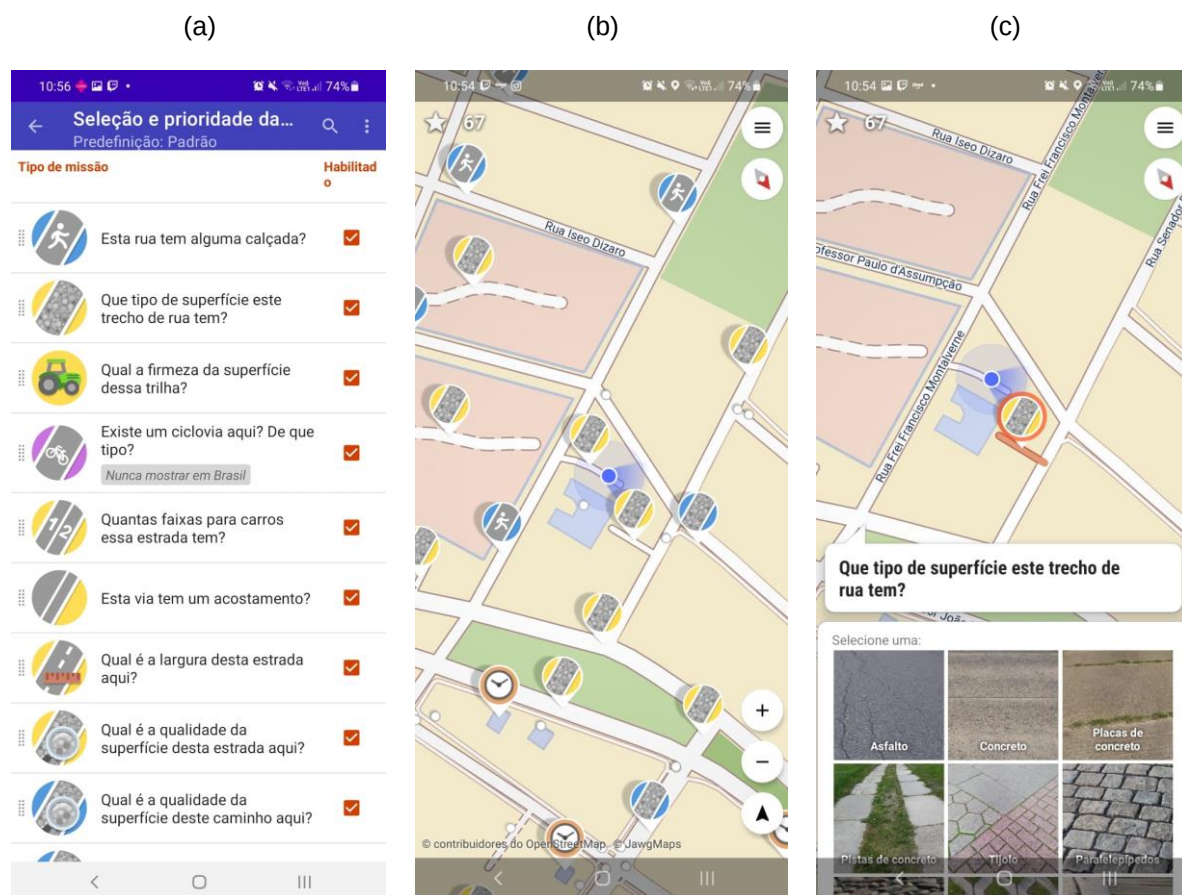
Quadro 2 - Atributos mapeados

Geometria	Atributos	Chave	Valores Relevantes
Calçada	Tipo de pavimento	Surface	asphalt, concrete, concrete:plates, paving_stones, sett, compacted, ground, grass
Calçada	Estado de conservação	smoothness	excellent, good, intermediate, bad, very_bad, horrible, very_horrible, impassable
Calçada	Piso Podotátil	tactile_paving	yes, contrasted, primitive, no, incorrect
Cruzamento	Tipo de pavimento	Surface	asphalt, concrete, concrete:plates, paving_stones, sett, compacted, ground, grass
Cruzamento	Estado de Conservação	smoothness	excellent, good, intermediate, bad, very_bad, horrible, very_horrible, impassable
Cruzamento	Tipo de cruzamento	crossing	traffic_signals, marked, unmarked, no
Meio fio (pontos 2 e 4)	Rampa de acesso	kerb	raised, lowered, flush, no, rolled
Meio fio (pontos 2 e 4)	Altura do meio fio	kerb:height	x (metros)

Fonte: Adaptado de <https://wiki.openstreetmap.org> (2022)

Para realizar o mapeamento destes atributos foi utilizado o aplicativo para android “StreetComplete”. No aplicativo pode-se definir as missões (Figura 15a), que são os tipos de atributos que se pretende mapear para as geometrias.

Figura 15 - (a) Seleção de missões no StreetComplete, (b) Tela de mapeamento, (c) Exemplo de mapeamento



Fonte: O Autor (2022)

O aplicativo apresenta, de acordo com a localização do usuário, tarefas para completar atributos das geometrias presentes no entorno, exibindo tais tarefas como balões, figura 15b.

Ao selecionar o balão correspondente a uma tarefa, esta ficará destacada e abrirá então um menu de interação para responder acerca dos atributos da geometria associada, figura 15c.

A cada pergunta respondida, uma nova tarefa para a mesma geometria poderá ser liberada, ao se esgotarem todas as tarefas para uma mesma geometria, ela deixa de aparecer disponibilizada.

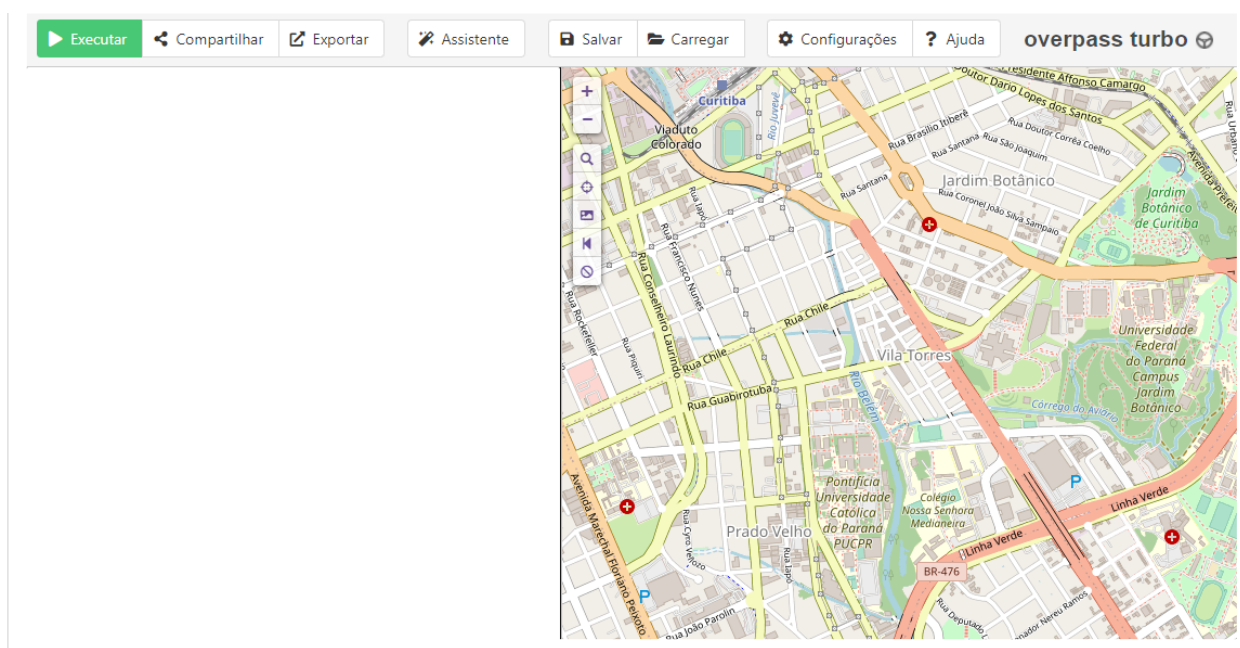
O mapeamento de atributos utilizando o “*street complete*” foi realizado no dia 23 de março de 2022, em conjunto com a turma do curso de engenharia civil, anteriormente mencionada, no dia foi realizado um mapeamento utilizando o modo de equipe do “*Street Complete*”, divididos em dois grupos percorrendo o campus centro politécnico, o mapeamento durou aproximadamente duas horas.

3.6 REDE DE ROTEAMENTO E ROTA

Para a etapa do traçado das rotas foi utilizado o *pgRouting*, uma extensão do banco de dados espacial PostGis/PostgreSQL, o *pgRouting* é utilizado para fornecer diversos algoritmos com funcionalidade de roteamento geoespacial, além de trabalhar com um parâmetro de custo atribuído a cada aresta da rede de roteamento, este parâmetro pode ser modificado diretamente do SQL.

Para criar a rede de roteamento seguindo a estrutura topológica do *pgRouting* (composta por arestas e nós) utilizando dados do OSM, primeiramente é necessário obter os dados a serem utilizados na rede. Para a realização do presente trabalho, foram utilizados para compor a rede de roteamento todos os dados OSM cuja tag “*highway*” corresponde ao valor “*footway*”. Para baixar os dados em formato .osm (formato nativo do OSM) foi utilizada a ferramenta de *download* de dados “Overpass-Turbo”, conforme Figura 16.

Figura 16 - Tela do OverPass Turbo



Fonte: O autor (2022)

Esta ferramenta permite baixar dados do OSM utilizando uma estrutura de código que aponta quais dados devem ser baixados e para qual região. Para baixar os dados referentes às calçadas com a extensão da tela na área de estudo, a seguinte estrutura de código é necessária;

```
<osm-script output="xml" timeout="25">
  <union>
    <query type="node">
      <has-kv k="highway" v="footway"/>
      <bbox-query {{bbox}}/>
    </query>
    <query type="way">
      <has-kv k="highway" v="footway"/>
      <bbox-query {{bbox}}/>
    </query>
    <query type="relation">
      <has-kv k="highway" v="footway"/>
      <bbox-query {{bbox}}/>
    </query>
  </union>
</union>
<item/>
<recurse type="down"/>
</union>
<print mode="body"/>
</osm-script>
```

Esta estrutura gera a consulta dos dados a serem baixados, após executar a consulta o *download* dos dados é realizado utilizando a opção “raw OSM data”.

Para criar a estrutura topológica da rede de roteamento utilizando este arquivo é necessário criar um banco espacial no “PgAdmin” e adicionar a extensão “PgRouting”, os dados são carregados para o banco utilizando a ferramenta “osm2pgrouting”, que recebe como dado de entrada o arquivo de dados no formato dado.osm e os parâmetros de conexão com o banco de dados espacial desejado, a ferramenta permitiu criar no banco duas tabelas fundamentais, a tabela “ways” que corresponde a estrutura das arestas da rede e a tabela “ways_vertices_pgr” que corresponde a estrutura dos nós da rede, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Trecho da tabela ways

gid	osm_id	length_m	source	target	cost_s	reverse_cost_s
1	24603400	20.10745356	23	21	1.447736657	1.447736657
2	472108297	31.6728186	117	2	2.280442939	2.280442939
3	373152156	17.66414029	115	2	1.271818101	1.271818101
4	744514203	33.94501615	150	4	2.444041163	2.444041163
5	24791588	9.729172192	325	5	0.700500398	0.700500398
6	448307276	58.89206047	128	6	4.240228354	4.240228354
7	744510971	27.23067887	13	6	1.960608879	1.960608879
8	24603120	26.8835812	202	8	1.935617846	1.935617846
9	373152156	21.09514812	2	8	1.518850665	1.518850665

Fonte: O autor (2022)

A partir da rede de roteamento, é possível utilizar as ferramentas disponibilizadas pelo “PgRouting” de modo a traçar rotas por meio de diversos algoritmos, dentre eles o utilizado neste projeto foi o algoritmo “dijkstra”.

“Dijkstra é um código de busca, baseado grafos que resolve o problema do caminho mais curto para um grafo com custos de caminho de aresta não negativos, produzindo um caminho mais curto de um vértice inicial para um vértice final. Esta implementação pode ser usada com um grafo direcionado e um grafo não direcionado.” (traduzido e adaptado de https://docs.pgRouting.org/3.1/en/pg_routing_dijkstra, acesso em: 05 de março de 2022).

Para traçar a rota a seguinte consulta SQL é necessária:

```
SELECT * FROM pgr_dijkstra(
  'SELECT gid as id,
    source_osm AS source, target_osm AS target,
    cost_s AS cost, reverse_cost_s AS reverse_cost
  FROM ways',
  PONTO_A, PONTO_B,
  directed => false
) AS route
ON ways.gid = route.edge
```

O resultado dessa consulta é uma estrutura de tabelas que mostra os segmentos dentro da tabela “ways” necessários para compor a rota entre um ponto A e um ponto B, porém selecionar apenas a estrutura de elementos que são retornados pela função “dijkstra” não exibe a geometria dos elementos que compõem a rota

desejada, para trazer também a geometria e criar uma visualização que corresponde a rota é necessário utilizar a ferramenta “JOIN” presente em na linguagem SQL, o “JOIN” será responsável por atribuir a cada trecho de calçada a sua geometria correspondente, a consulta final que permite criar ou alterar a visualização da rota com as geometrias das calçadas é apresentada a seguir.

```
CREATE OR REPLACE VIEW rota as
SELECT the_geom, gid, source_osm, target_osm, ways.cost, reverse_cost
FROM ways
JOIN
(SELECT * FROM pgr_dijkstra(
'SELECT gid as id,
    source_osm AS source, target_osm AS target,
    cost_s AS cost, reverse_cost_s AS reverse_cost
FROM ways',
PONTO_A, PONTO_B,
directed => false
)) AS route
ON ways.gid = route.edge
```

A rota gerada pelo algoritmo *dijkstra* “padrão”, com pesos baseados apenas no inverso da distância, ainda não é a rota otimizada para pessoas com deficiência visual, pois é gerada considerando apenas o custo padrão do algoritmo, ou seja, o algoritmo gera apenas a rota mais curta entre dois pontos dentro de uma rede de roteamento. Para gerar uma rota realmente otimizada é necessário atualizar a coluna de custo para um valor que considere os elementos que podem favorecer ou prejudicar a caminhabilidade de pessoas com deficiência visual.

3.6.1 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DE PESOS

Rotas otimizadas por pesos são uma variação das rotas tracionais, as rotas convencionais utilizam o comprimento de um segmento como custo. Desta forma, trechos mais longos tem mais custo e trechos mais curtos tem menos custo. Por fim o algoritmo determina a rota utilizando sempre o menor custo, porém as rotas podem ser otimizadas modificando esse parâmetro de custo de acordo com o objetivo de otimização da rota. Portanto, a modificação de uma rota que considera apenas o caminho mais curto entre dois pontos para uma rota que considere pesos externos é custoso, pois existe certa dificuldade na determinação da estrutura de pesos desses

elementos, para traçar a rota mais segura por exemplo, diversos fatores externos devem ser analisados e enfim quantificados para modificarem o parâmetro de custo de cada um dos elementos que compõem a estrutura da rede de roteamento. Kammoun (2010) menciona a ausência de estudos cognitivos na literatura que possam ser utilizados para alocar custos e lucros na determinação de rotas otimizadas para pessoas com deficiência visual.

A estrutura criada para definição destes pesos foi uma estrutura de notas, em que as notas dos elementos variam de 0 a 10 de acordo com a característica do elemento. As notas representam 80% do peso final do elemento, os 20% restantes estão distribuídos entre bonificações ou penalidades que determinado trecho pode ter, a tabela 2 apresenta a versão inicial da estrutura criada.

Tabela 2 - Estrutura inicial para nota

Legenda:		ausente	
80% da nota			
surface		smoothness	
Valor	Nota	Valor	Nota
asphalt	10	excellent	10
concrete	9	good	9
paving_stones	8	intermediate	6
ground	4	bad	3
concrete:plates	7	very_bad	2
grass	4	horrible	1
sett	6	impassable	0
paved	7		5
unpaved	3		
gravel	4		
	6		

Fonte: O autor (2022)

Tabela 3 - Estrutura inicial para bonificações e descontos

Legenda:		ausente					
Penalidade cruzamento		Calçada		Cruzamentos			
kerb		tactile_paving		traffic_calming		crossing	
Valor	Nota	Valor	Nota	Valor	Nota	Valor	Nota
raised	-0.3	no	0	table	1	unmarked	0
lowered	0	yes	2	other	0.5	marked	1
flush	0		0		0	traffic_signals	2
no	-0.15						0
yes	-0.3						
other	-0.1						

Fonte: O autor (2022)

De acordo com a tabela 3 cada elemento de aresta recebe a nota para cada valor de atributo mapeado para o trecho, os principais elementos são a superfície da calçada e o estado de conservação da calçada, 80% da nota corresponde à média harmônica entre eles. Neste caso foi considerado que tanto o tipo de superfície, quanto o estado de conservação possuem pesos iguais, o cálculo da média harmônica para dois elementos (X_1 e X_2) é dado pela equação 01.

$$Mh = \frac{2 \cdot X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2} \quad (01)$$

A média harmônica representa uma boa solução se comparada com a média aritmética, pois penaliza muito valores baixos. Na média aritmética um trecho de calçada de asfalto com estado de conservação impassável teria nota igual a 5, isso significa que o trecho poderia ser utilizado em uma rota. Na média harmônica o mesmo trecho receberia nota 0, devido as multiplicações no numerador e então seria evitado ao traçar uma rota, o que se tratando de um trecho cujo estado de conservação é impassável faz total sentido.

Após o cálculo da média harmônica o trecho recebe as bonificações ou penalidades, estes itens foram segmentados entre as calçadas e os cruzamentos, tal diferenciação se faz necessária pois os atributos mapeados para estes dois elementos são diferentes. Como a nota oriunda da média harmônica entre tipo de superfície e estado de conservação representa apenas 80% da nota é impossível, tanto para um trecho de calçada, como para um cruzamento atingirem nota máxima sem bonificações, as bonificações podem ser positivas e podem ser negativas como é o caso do meio fio que pode ou não dificultar um cruzamento. Por fim, a nota final do trecho é dada pela média harmônica calculada anteriormente somada às bonificações e penalidades. Conforme equação 2.

$$\text{Nota Final} = 0,8 \cdot Mh + \text{Bonificações} - \text{Descontos} \quad (02)$$

A tabela 2 e a tabela 3 apresentam uma classificação empírica dos elementos e não representam a real dificuldade das pessoas com deficiência visual ao

caminharem sobre os respectivos tipos de superfície ou como o estado de conservação afeta a caminhabilidade. Essas tabelas também não apresentam os reais ganhos de um determinado trecho com relação a existência ou não de piso tátil ou ainda sobre determinado cruzamento.

Para determinar as melhores notas e os melhores valores de bonificações e penalidades, com relação aos atributos de um determinado trecho de calçadas, é necessário compreender melhor as reais influências desses elementos no cotidiano de uma pessoa com deficiência visual. Para isso, uma segunda reunião foi realizada com a equipe da FADERS, nela foram discutidos os reais impactos dos atributos utilizados. Para facilitar esse entendimento, um formulário foi criado e durante a reunião foi apresentado de forma audiodescritiva e o usuário presente pode responder sobre a sua realidade em relação às questões apresentadas. O formulário utilizado nesta reunião está disponível como apêndice 2. Após a reunião, todas as respostas geradas foram utilizadas para otimizar a estrutura de notas gerando a seguinte estrutura atualizada, conforme Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Estrutura de nota atualizada em conjunto com usuários

Legenda:		ausente	
80% da nota			
surface		Smoothness	
Valor	Nota	Valor	Nota
asphalt	10	excellent	10
concrete	10	good	9
paving_stones	10	intermediate	6
ground	6	bad	4
concrete:plates	4	very_bad	1
grass	6	horrible	0.5
sett	5	impassable	0
paved	7		5
unpaved	6		
gravel	3		
	6		

Fonte: O autor (2022)

Tabela 5 - Estrutura de bonificações e descontos atualizada em conjunto com os usuários

Legenda:		ausente					
Penalidade cruzamento		Calçada		Cruzamentos			
kerb		tactile_paving		traffic_calming		crossing	
Valor	Nota	Valor	Nota	Valor	Nota	Valor	Nota
raised	-0.5	no	0	table	1	unmarked	0
lowered	0	yes	2	other	0.5	marked	1

flush	0		0		0	traffic_signals	2
no	-0.3						0
yes	-0.5						
other	-0.3						

Fonte: O autor (2022)

Com a estrutura de notas refinada, a nota final do trecho foi utilizada para calcular o novo parâmetro de custo, o novo parâmetro foi calculado conforme a equação 3.

$$\text{Novo Custo} = \text{Custo Antigo} / \text{Nota Final} \quad (03)$$

A expressão permite considerar o custo existente e ainda considerar todos os elementos da estrutura de custo criada para otimizar a rota, isso significa que a rota otimizada é aquela que considera a menor distância entre dois pontos, porém está otimizada, pois considera também os atributos mapeados para cada trecho de calçada.

Após o cálculo do novo custo, a tabela ways é atualizada para que este novo parâmetro seja utilizado na determinação da rota.

3.7 DESENVOLVIMENTO COM PYTHON E DJANGO

No desenvolvimento web existe uma série de *frameworks* que são ferramentas que permitem compartilhar trechos de código entre distintas aplicações, mas que possuem funcionalidades semelhantes. Estas ferramentas servem para auxiliar a escrever sites de maneira fácil e otimizada, no Python, Django é um desses *frameworks*.

Django é um *framework* para aplicações web gratuito e de código aberto, escrito em Python, Django funciona com base no princípio DRY (Don't Repeat Yourself). Esse princípio funciona de modo que o desenvolvedor utilize ao máximo códigos e funções já prontas dentro do framework evitando assim a repetição de códigos.

Para criação da aplicação web o Django mostra-se uma ferramenta completa, pois permite realizar integração direta com o banco de dados e geoserviços. Dentro da estrutura de um projeto Django existem códigos em Python, HTML, CSS e

JavaScript, toda a etapa de desenvolvimento do projeto Django, bem como a manipulação do banco com PgAdmin foi realizada em ambiente Linux utilizando a máquina virtual OSGeoLive.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 PROJETO CARTOGRÁFICO E MODELAGEM DO SISTEMA

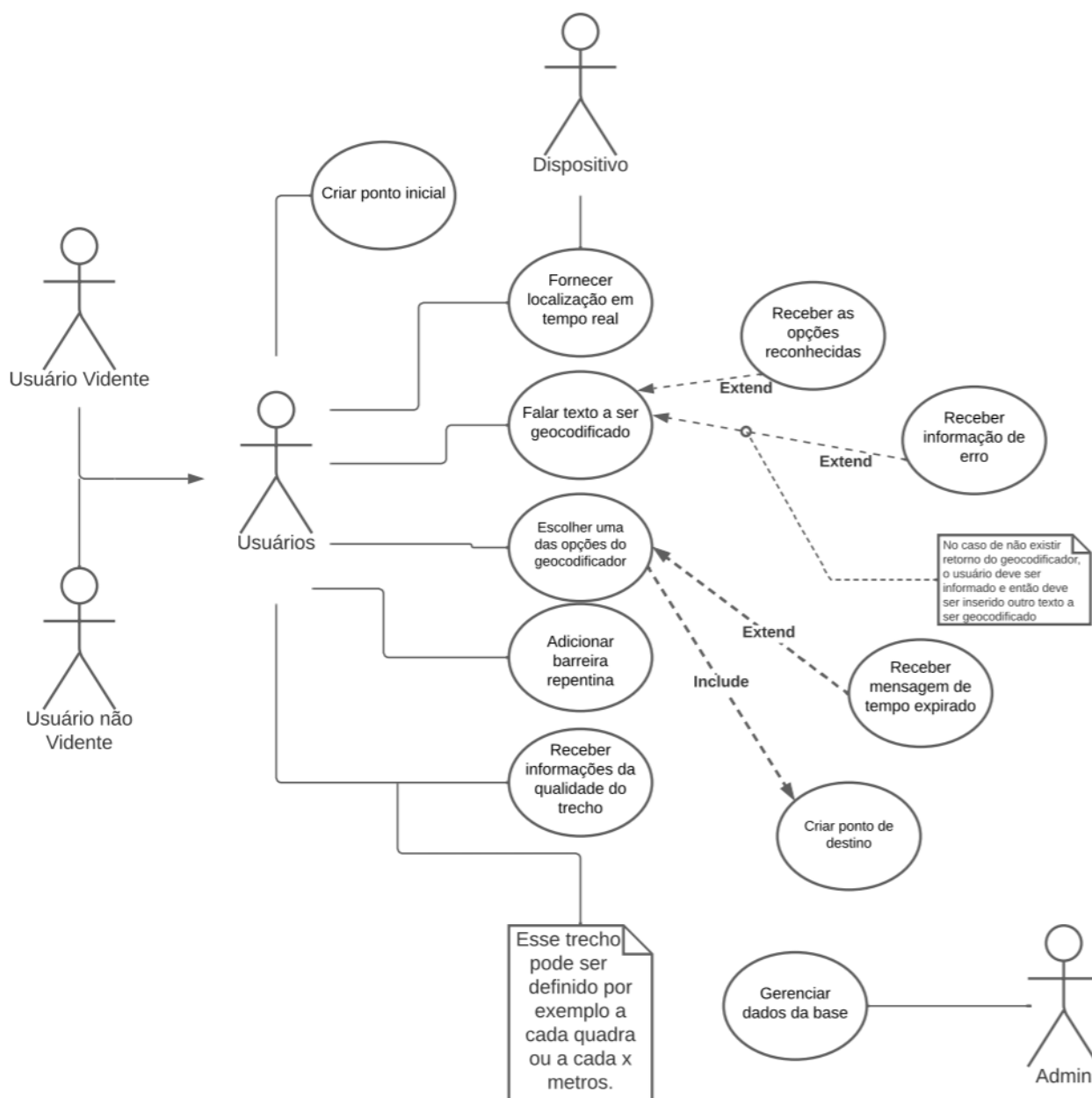
A etapa inicial de um projeto cartográfico é conhecer os usuários e suas necessidades, este conhecimento de quem é o usuário e os prováveis usos que serão destinados aos mapas a serem construídos, estabelece o contexto no qual o projeto cartográfico será desenvolvido. Sluter (2007).

Os principais usuários das rotas geradas pelo sistema são pessoas com deficiência visual, porém a aplicação de modo geral pode ser utilizada por usuários videntes. Após conversar com os usuários com deficiência visual, e entender melhor o que eles esperam de um sistema gerador de rotas otimizadas, foi possível definir alguns requisitos dos usuários; além da rota otimizada considerando os elementos que podem impactar na seu deslocamento, os usuários relataram que em rotas rotineiras como ir ao trabalho ou ir ao mercado não existe uma preocupação tão grande com relação às barreiras fixas da rota, como árvores, postes e demais elementos, pois devido à familiaridade com o trajeto, o usuário sabe a posição aproximada destes elementos e já está atento ao realizar os desvios. A grande preocupação do usuário está em elementos que descrevem barreiras repentinas, tais como: uma obra iniciada no dia anterior; um veículo que possa estar parado sobre a calçada por algum motivo externo; ou até mesmo uma fiação elétrica que devido a ventos possa ter caído sobre a calçada. O usuário relatou não que existe como saber da existência dessas barreiras até se deparar com elas, inviabilizando ou prejudicando seu deslocamento.

Deste modo, após compreender a principal dificuldade dos usuários pode ser elaborado o projeto do sistema que irá gerar rotas otimizadas e também irá mapear estes elementos repentinos.

A Figura 17 apresenta o diagrama de casos de uso, este diagrama dentro da modelagem UML é a peça responsável por definir como os usuários irão interagir com o sistema.

Figura 17 - Diagrama de casos de uso



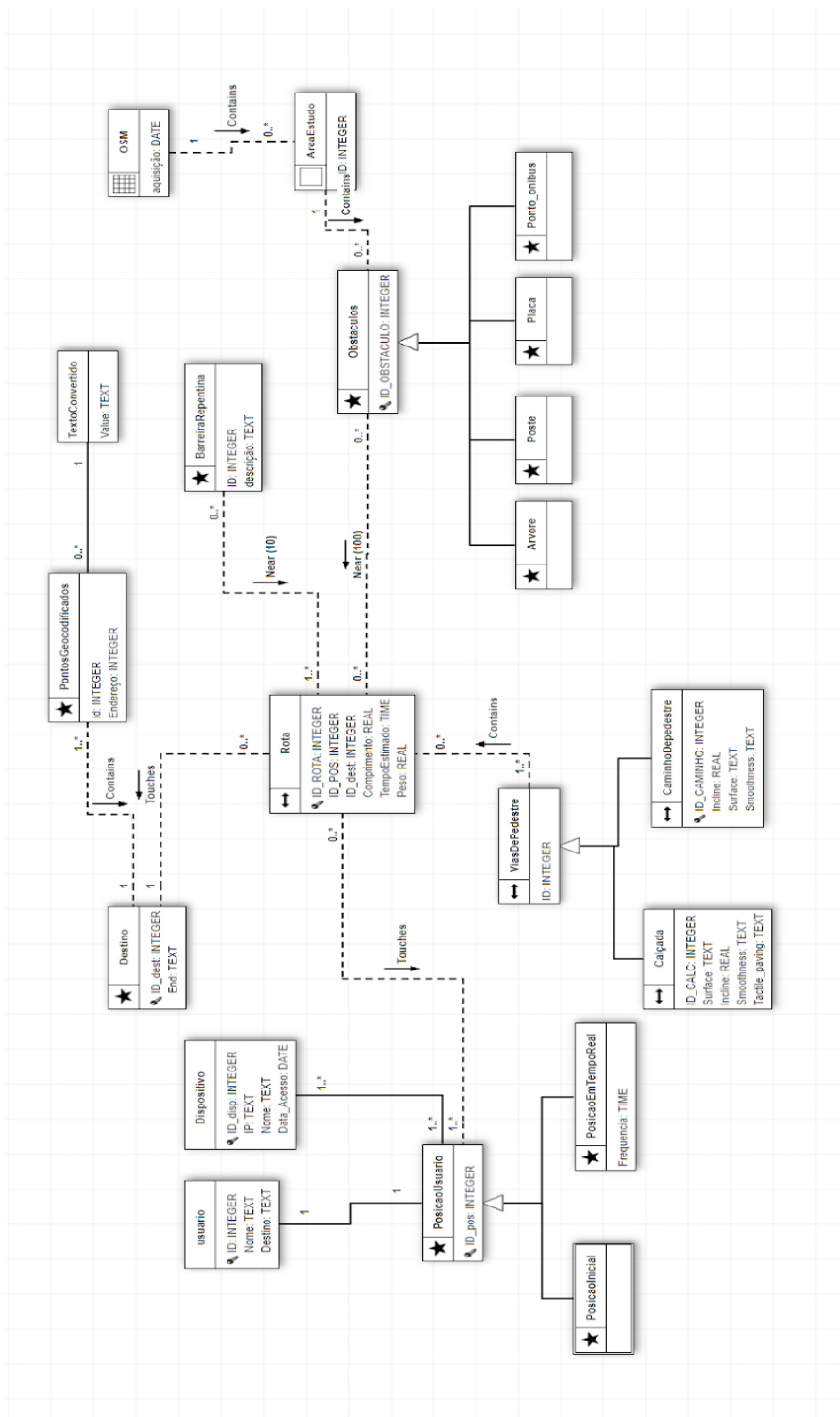
Fonte: O autor (2022)

Para o sistema proposto, os usuários podem interagir com o sistema da seguinte forma: inicialmente o usuário deve permitir que o sistema acesse a localização do seu dispositivo; com esta localização é criado o ponto inicial da rota; o usuário fornece ao sistema informações como seu nome e para onde deseja ir; o sistema retorna então uma rota otimizada; o usuário pode adicionar um ponto ao mapa; este ponto deve corresponder a barreiras repentinas encontradas no trajeto.

Após modelar as interações dos usuários com o sistema é necessário modelar as informações necessárias para essas interações, tais informações compõem o

diagrama e classes da modelagem UML, o diagrama de classes pode ser observado na figura 18.

Figura 18 - Diagrama de classes



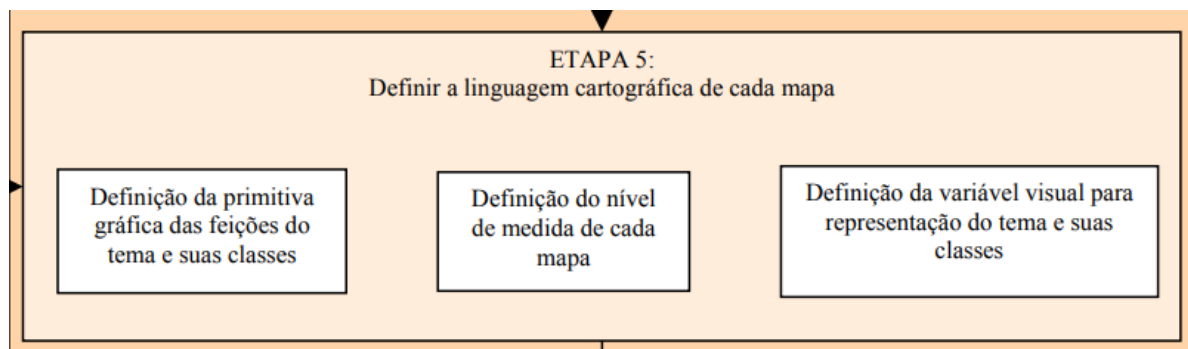
Fonte: O autor (2022)

O diagrama de classes permite estruturar toda informação que envolve a aplicação desenvolvida. O objetivo deste diagrama é mostrar cada uma das classes da aplicação e como elas estão relacionadas entre si, desde classes não espaciais, como a própria classe do usuário, até as classes dos objetos espaciais. Cada classe recebe um nome, atributos correspondentes, e no caso das classes espaciais o tipo de geometria que representam, as linhas conectam as classes e descrevem a relação entre cada uma delas.

Após a modelagem do sistema tem-se o conhecimento prévio das informações que devem estar presentes no mapa. Após conhecer as bases cartográficas do mapa é necessário definir a escala e a projeção cartográfica, tratando-se de uma aplicação web a escala é variável sendo definida a escala máxima como o limite da base de dados do “OpenStreetMap”, ou seja, 1:1000, como a base de dados do OSM é um base global não é necessário restringir uma escala mínima.

Com a definição da escala, a próxima etapa foi definir a linguagem cartográfica do mapa. A linguagem cartográfica é entendida como uma combinação de outros elementos, conforme Figura 19.

Figura 19 - Linguagem Cartográfica



Fonte: Sluter (2007)

A primeira etapa para a definição da linguagem cartográfica é definir a primitiva gráfica das feições presentes no mapa, o quadro 3 apresenta os elementos que compõem a linguagem cartográfica deste trabalho.

Quadro 3 – Linguagem Cartográfica

Feição	Primitiva gráfica	Nível de medida	Variável visual	Exemplo
Rota	Linha	Nominal	Tom de cor	
Posição do Usuário	Ponto	Nominal	Tom de cor	
Barreiras	Ponto	Nominal	Forma e Tom de cor	
Destino	Ponto	Nominal	Tom de cor	

Fonte: O autor (2022)

Após a primitiva gráfica foi definido o nível de medida a ser utilizado em cada feição, por fim definiu-se o último elemento constituinte da linguagem cartográfica, ou seja, a variável visual, o quadro 3 apresenta as variáveis visuais. Esta linguagem cartográfica é apropriada apenas para os usuários videntes pois é baseada em comunicação visual.

Após definida a linguagem cartográfica a última etapa do projeto cartográfico como a construção do mapa.

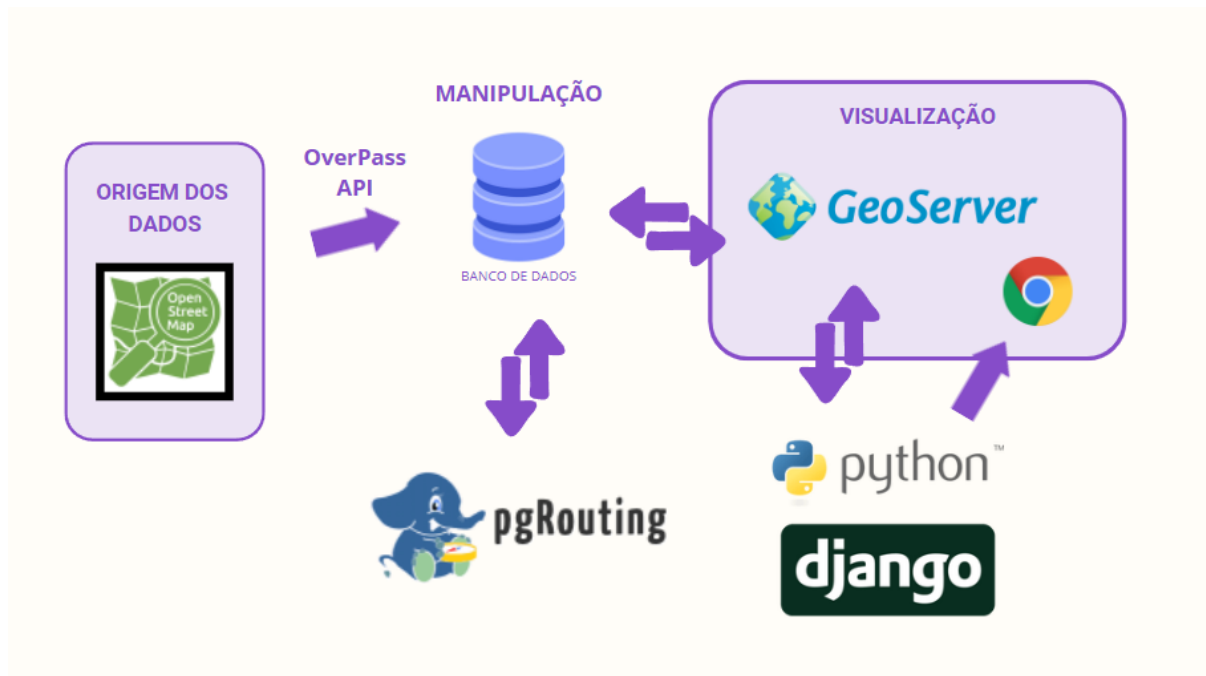
4.2 ARQUITETURA DA APLICAÇÃO

O desenvolvimento da aplicação ocorreu em ambiente computacional Linux através da máquina virtual “OsGeoLive”, onde foi utilizado o framework Django. Este framework consiste na utilização do padrão MVT (*Model, View, Template*), o formato é estruturado em arquivos no padrão da linguagem python e complementado por arquivos JavaScript, HTML e CSS, a aba *model* é responsável pela criação dos modelos das tabelas a serem implementadas no banco de dados, a aba *View* é responsável por processar as requisições realizadas e retornar a informação que deverá ser exibida ao usuário, por fim a aba *template* é responsável pela interface geral das páginas a serem exibidas.

De modo geral o django proporcionou uma boa experiência de desenvolvimento pois o framework agiliza algumas ferramentas do desenvolvimento

como adicionar informações ao banco de dados e realizar consultas SQL. A figura 20 mostra a arquitetura geral do sistema.

Figura 20 - Arquitetura do sistema



Fonte: O autor (2022)

Através da arquitetura do sistema pode se perceber de modo geral o fluxo de operações da aplicação, os dados são baixados do “OpenStreetMap” e adicionados ao banco de dados no formato de rede de roteamento do “PgRouting”. Este por sua vez, utiliza o algoritmo “Dijkstra” para traçar as rotas utilizando como parâmetro de peso o custo calculado no item 3.3.1 a rota gerada é armazenada no Geoserver e consumida pelo Django como um *layer*, o Django adiciona todos *layers* necessários ao mapa e exibe as informações em uma página web.

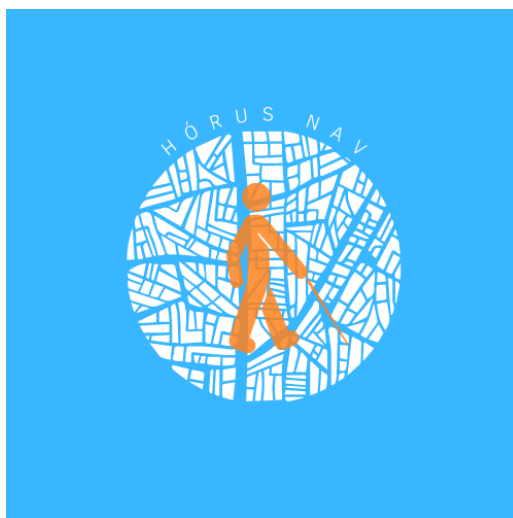
4.3 PROJETO DE INTERFACE

Construir uma aplicação mesmo que direcionada à pessoas com deficiência visual necessita de uma identidade visual, a identidade da aplicação é composta por vários elementos, o primeiro elemento a compor a identidade é o nome, a aplicação desenvolvida recebeu o nome de “Hórus Nav”, Hórus é uma analogia ao deus egípcio de mesmo nome e Nav uma abreviação de navegação.

Além do nome também foi criada uma logo para a aplicação, a logo estará presente na página inicial da interface. A logo une os principais temas deste trabalho

para criar um design bonito, sutil e representativo, a figura 21 apresenta a logo criada para o Hórus Nav.

Figura 21 - Logo da aplicação "Hórus Nav"

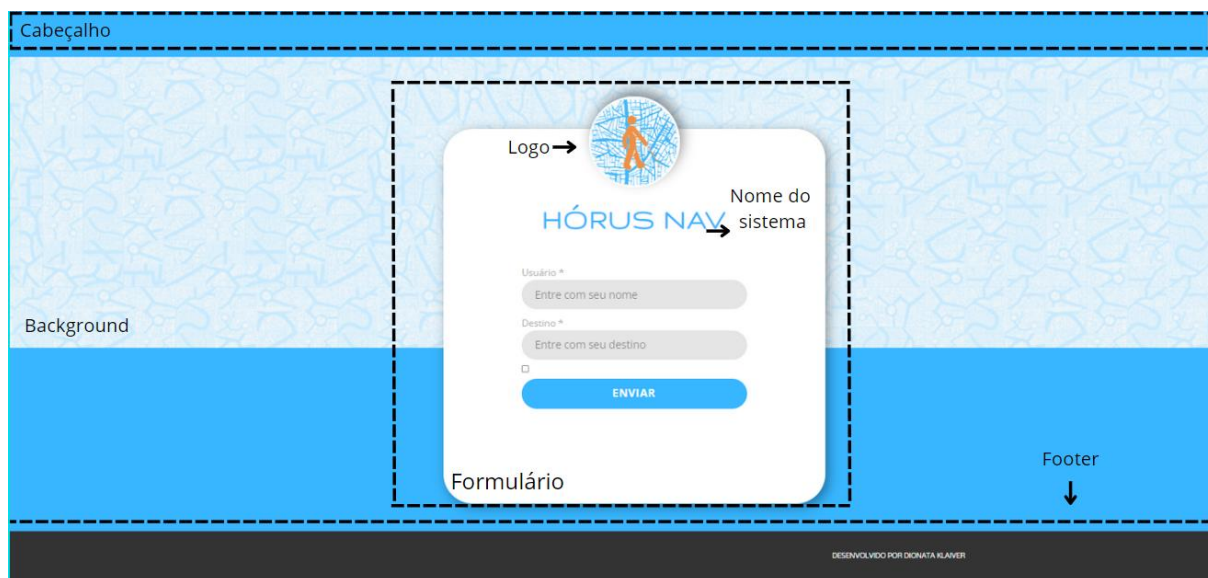


Fonte: O autor (2022)

Além do modelo apresentado, a logo recebeu duas variações, uma com o símbolo representando a pessoa com deficiência visual na cor preto e outro na cor vermelho.

A logo criada foi aplicada ao projeto de interface da página inicial da aplicação, a página inicial conta com as caixas de diálogo onde deve ser preenchido o nome do usuário e o destino para onde deseja traçar a rota. A figura 22 apresenta o projeto da interface da página inicial.

Figura 22 – Projeto de interface da página inicial



Fonte: O autor (2022)

A interface projetada utilizando a ferramenta “Nicepage” é constituída por um cabeçalho na parte superior, corpo que recebe a “background” do sistema, o formulário onde são inseridos os dados, o nome do sistema e a logo, e por fim o “footer” que é o rodapé do sistema e recebe as informações relacionadas ao desenvolvedor e referência da ferramenta utilizada. A ferramenta “Nicepage” permite posicionar os elementos de maneira totalmente independente em cada tipo de dispositivo, com isso, a interface atingiu o objetivo de ser totalmente responsiva, a interface responsiva se adapta as diferentes dimensões de tela dos diferentes tipos de dispositivos. A figura 23 apresenta o comportamento da interface em dispositivos móveis.

Figura 23 - Interface em dispositivos móveis



The image shows a mobile application interface for "HÓRUS NAV". At the top, there is a circular logo featuring an orange stick figure walking on a blue map background. Below the logo, the text "HÓRUS NAV" is displayed in blue. The interface includes two input fields: "Usuário *" with a placeholder "Entre com seu nome" and "Destino *" with a placeholder "Entre com seu destino". Below these fields is a small square checkbox. A blue button labeled "ENVIAR" is positioned below the checkbox. The entire form is set against a light blue background with a faint map pattern, framed by a blue border. At the bottom, a black bar contains the text "DESENVOLVIDO POR DIONATA KLAIVER" in white.

HÓRUS NAV

Usuário *

Entre com seu nome

Destino *

Entre com seu destino

☐

ENVIAR

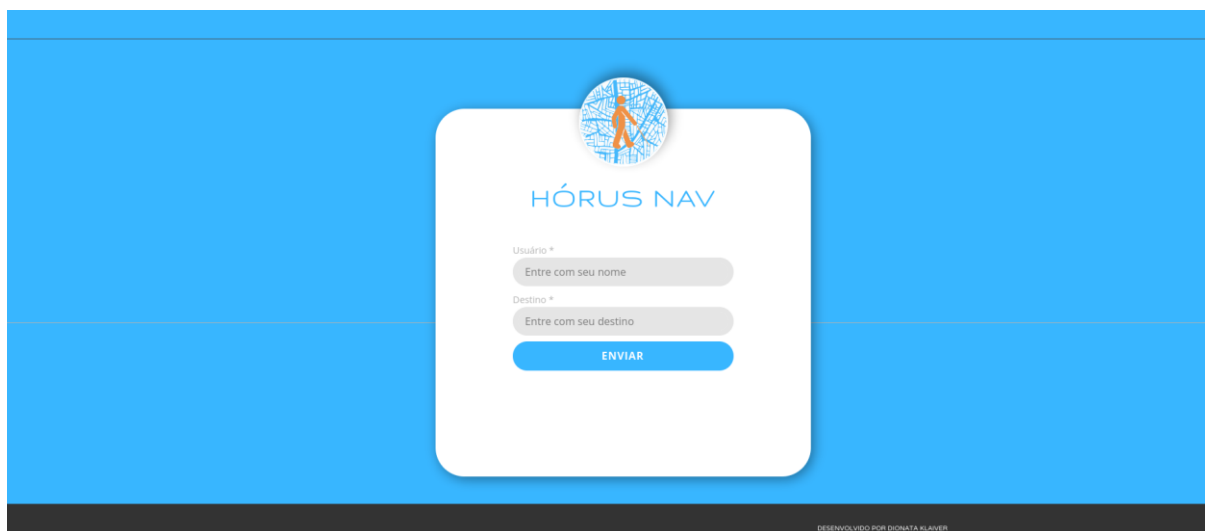
DESENVOLVIDO POR DIONATA KLAIVER

Fonte: O autor (2022)

4.4 FUNCIONAMENTO DA APLICAÇÃO E A ROTA OTIMIZADA

A ferramenta funciona diretamente no navegador do usuário e em sua tela inicial basta informar o nome e o destino para onde deseja traçar uma rota otimizada (Figura 24).

Figura 24 - Tela inicial implementada



Fonte: O autor (2022)

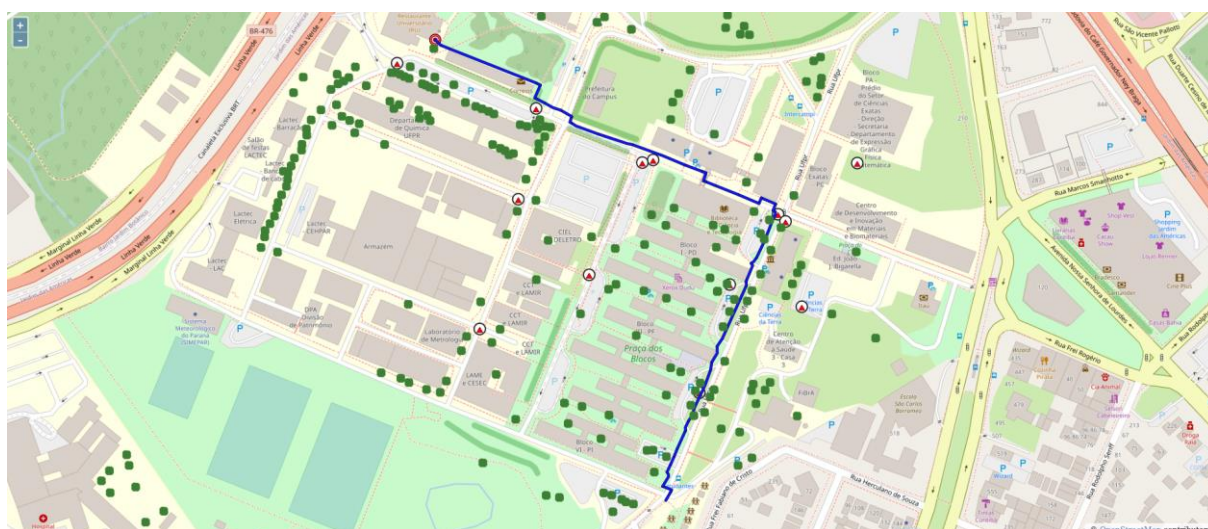
Após informar o destino e enviar os dados, o seguinte fluxo de operações é executado:

- Nome e informação de destino são armazenados no banco de dados;
- Informação de destino é enviada ao banco de dados;
- É realizada a solicitação de acesso a localização do dispositivo;
- A localização do dispositivo é armazenada no banco de dados e atualizada a cada 10 segundos;
- A última localização do dispositivo é publicada no Geoserver;
- Django realiza uma consulta SQL e obtêm da rede de roteamento o nó mais próximo a posição do usuário e armazena este nó como “nó 1”;
- Django realiza a geocodificação da informação de destino e retorna as coordenadas de um ponto;
- Django realiza uma consulta SQL e obtêm da rede de roteamento o nó mais próximo do ponto geocodificado e armazena esse nó como “nó 2”;

- Django realiza a consulta SQL utilizando algoritmo “Dijkstra” com modificação de custos para traçar a rota;
- A rota é publicada no servidor de mapas Geoserver;
- A rota é atualizada em função da atualização da localização do usuário;
- Os layers publicados no Geoserver são adicionados ao mapa como camadas;
- O mapa é renderizado na página web.

Após realizar todas essas etapas pode ser visualizada na Figura 25 a tela a informação da rota gerada e otimizada, e a posição do usuário em tempo real, atualizada a cada 10 segundos.

Figura 25 - Mapa gerado para visualização



Fonte: O autor (2022)

Para adicionar ao mapa as barreiras repentinas, o usuário deve acionar uma função específica, essa função é responsável por adicionar o ponto ao banco de dados e permite o usuário preencher o atributo da descrição da barreira, quando a função é acionada o seguinte fluxo é disparado:

- A função grava as coordenadas do local e solicita a descrição da barreira;
- O ponto junto com a descrição é adicionado ao banco de dados;
- O ponto é publicado no geoserver;
- O ponto é adicionado ao mapa como um *layer*.

Essa função atualmente é acionada por um gatilho de “click” e a coordenada

registrada corresponde ao local onde foi clicado. No estágio atual a função não pode ser considerada acessível devido a suas limitações de usabilidade para pessoas com deficiência visual. O objetivo desta função era ser acionada por um comando de voz e a posição registrada seria a posição do usuário, adaptações se fazem necessárias para torná-la uma função acessível.

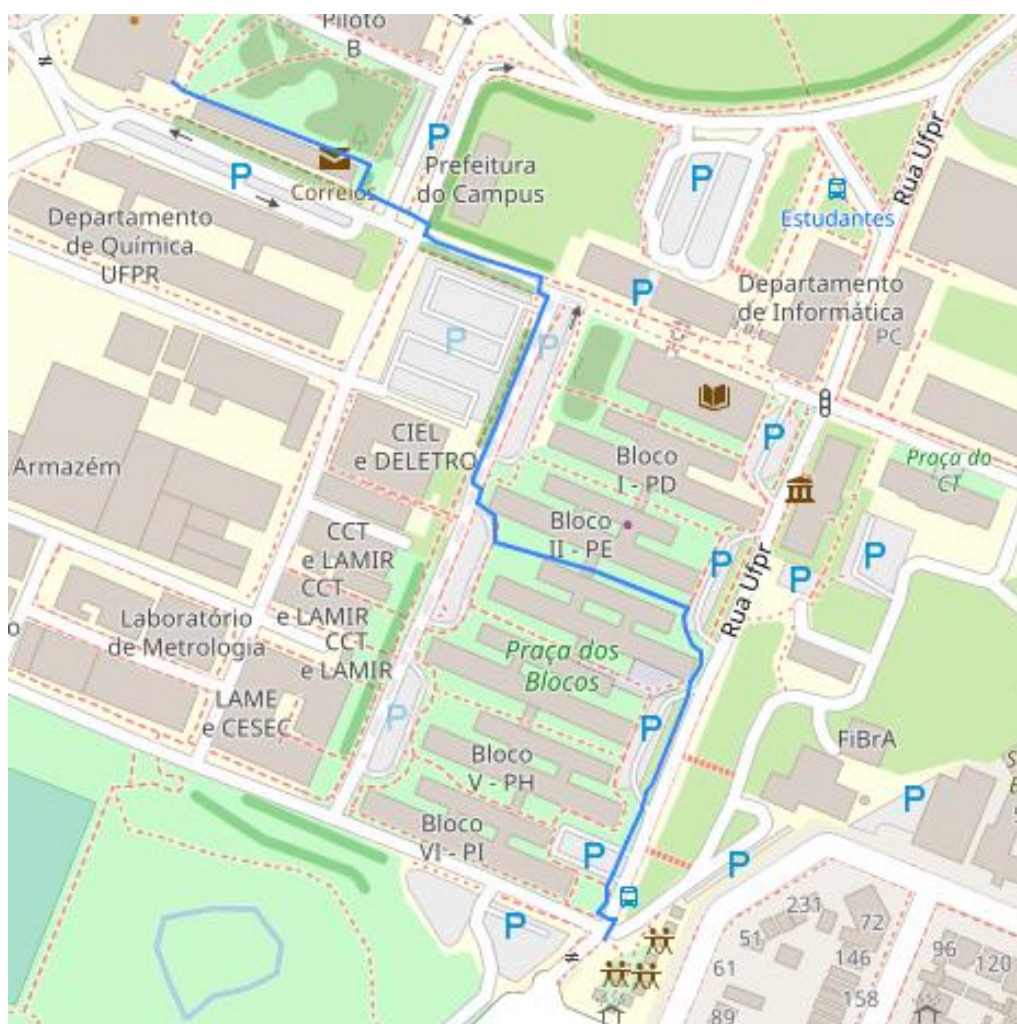
A estrutura de código utilizada para a criação do Hórus Nav está disponível em:

<https://github.com/klaiiver/HorusNav.git>

4.4.1 COMPARAÇÃO ENTRE ROTAS

Após gerar a rota otimizada, esta pode ser comparada com rotas tradicionais, modificando apenas o parâmetro de custo, o qual é utilizado para determinar a rota. Para esta comparação, a tabela “ways”, sobre qual a rota é gerada, recebeu duas colunas de custo. A primeira corresponde ao custo tradicionalmente utilizado por algoritmos de roteamento, este custo corresponde ao inverso da distância. A segunda coluna de custo recebeu os valores calculados no item 3.6.1, para melhor comparação entre as rotas geradas utilizando diferentes valores de custo o ponto inicial e o ponto final da rota foi o mesmo. Para o ponto inicial foi adotado um ponto próximo ao portal de entrada localizado próximo aos diretórios acadêmicos nas “casinhas”, o ponto final utilizado corresponde a entrada o Restaurante Universitário, a figura 26 apresenta a rota gerada utilizando o parâmetro de custo que considera apenas a distância.

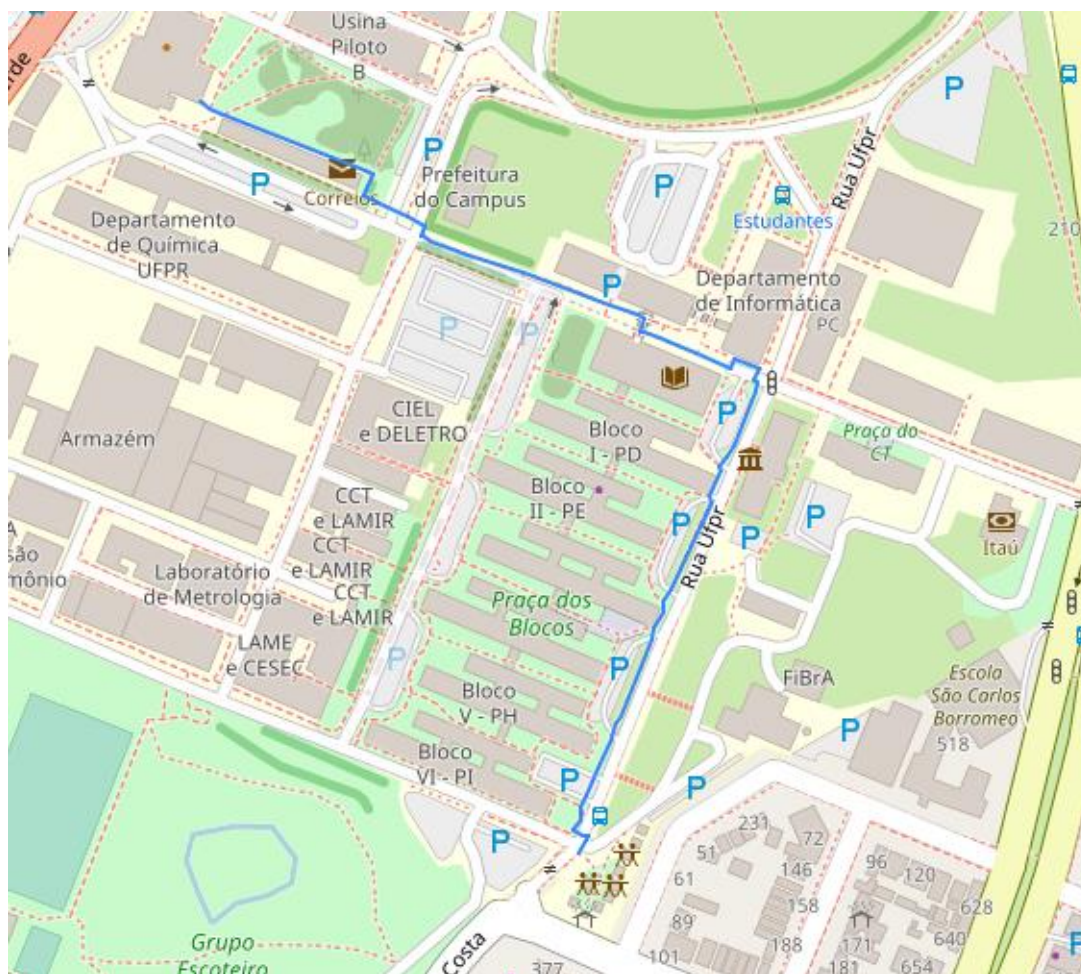
Figura 26 - Rota gerada considerando apenas a distância



Fonte: O autor (2022)

O Campus Centro Politécnico possui certa homogeneidade com relação ao estado de conservação das calçadas, existem poucos trechos onde o estado de conservação recebe nota abaixo de 6. Porém ao traçar a rota otimizada utilizando o parâmetro de custo calculado, é possível analisar que alguns trechos da rota são os mesmos, porém existe um trecho próximo ao centro da rota que foi alterado, a rota otimizada pode ser visualizada na figura 27.

Figura 27 - Rota otimizada de acordo com atributos mapeados



Fonte: O autor (2022)

Esta alteração entre as rotas mostra que para o trecho onde a rota otimizada se mostrou diferente da rota mais curta, existe um custo maior. Isso pode ocorrer por três motivos: 1) o tipo de superfície no trecho é pior em relação ao trecho utilizado na rota otimizada, 2) o estado de conservação do trecho é pior em relação ao trecho utilizado na rota otimizada; ou 3) existem descontos de nota no trecho que não existem para o trecho da rota otimizada.

Ao analisar-se os dados brutos (Tabela 6) é possível identificar que o trecho evitado corresponde ao trecho de identificação = "1042940035", uma busca na tabela original dos dados permite identificar que o trecho foi mapeado como estado de conservação "bad". Isso implica em uma nota menor para o trecho e consequentemente um custo maior, ao traçar a rota otimizada o algoritmo gera as rotas utilizando o menor custo, por isso o trecho o segmento de calçada cujo estado de conservação é ruim foi evitado.

Tabela 6 – Recorte da tabela de dados brutos

id	Surface	Smoothness
1042940033	sett	intermediate
1042940034	sett	intermediate
1042940035	sett	bad
1042940036	sett	intermediate
1042940037	sett	intermediate

Fonte: O autor (2022)

Por mais que as análises realizadas entre as rotas otimizadas pelo Hórus Nav e as rotas tradicionais apontem para uma divergência já esperada, neste caso o fato de evitar um trecho ruim, as rotas geradas pelos Hórus Nav não foram validadas por usuários do sistema, devido à falta de tempo hábil e falta de usuários com disponibilidade, pois esta validação é um processo que exige cuidado, acompanhamento além da necessidade de instrução prévia para a avaliação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de dados abertos e de *software* livre para o desenvolvimento desta aplicação é um elemento fundamental para avanços futuros, pois toda a metodologia de levantamento de dados, geração e otimização da rota podem ser replicadas em qualquer outro lugar no mundo, graças a estrutura global de mapeamento presente no OpenStreetMap, ou seja, se a estrutura de dados for mapeada seguindo os modelos apresentados por Stucci (2020), a rede de roteamento pode ser criada em qualquer lugar e as rotas também podem ser geradas, não existindo assim limitações geográficas para o uso da aplicação.

A geração de rotas otimizadas é objeto de diversos estudos e a grande dificuldade sempre é a definição da melhor estrutura de otimização, desde a composição dos elementos e atributos da estrutura até a fórmula estatística utilizada para obtenção do melhor valor, a estrutura de otimização apresentada neste trabalho é simples, porém eficiente, a média harmônica não permite que estruturas com nota 0 de algum modo sejam utilizadas para traçar rotas. Porém uma série de outros elementos podem ainda ser utilizados para otimizar ainda mais a rota gerada, destaca-se que para este trabalho não foi possível utilizar estes elementos devido à falta de tempo de pesquisa, conhecimentos necessários e ainda ferramentas para a aquisição de dados segmentados para cada trecho de calçada.

A rota gerada não propicia o conhecimento de itinerário, isso ocorre devido ao “PgRouting” como ferramenta geradora de rotas otimizadas é extremamente eficiente quando se trata de parâmetros matemáticos de cálculos das rotas. A possibilidade de modificar livremente o parâmetro de custo possibilidade, a ponderação de infinitos elementos na geração das rotas, porém a rede de roteamento utilizada e que proporcionou a geração das rotas otimizadas é sobre as calçadas e os itinerários de rotas vem usualmente das vias, pois são esses elementos da estrutura viária que recebem atributos como o nome da via por exemplo. Isso implica em uma dificuldade de ordem técnica para fornecer itinerários de rotas quando se utiliza uma estrutura de rede de roteamento traçada sobre as calçadas. Entretanto, existe o detalhamento das geometrias e seus atributos, o que permite traçar rotas eficientes que evitam trechos com calçadas ruins, que ponderam elementos de travessia e que favorecem as melhores estruturas das calçadas, porém sem uma adaptação dos elementos presentes nas vias e que são necessários para apresentar os itinerários

torna-se extremamente difícil apresentá-los sobre uma rede traçada sobre as calçadas.

Os obstáculos descritos pelos usuários como barreiras repentinas são elementos majoritariamente temporários. Deste modo é necessária uma confirmação para saber se o elemento ainda está presente ou não, isso gera algumas possibilidades, os próprios usuários poderiam remover estes elementos, porém para isso os usuários necessariamente deveriam estar no local da barreira e então as barreiras adicionadas por engano, em locais pouco frequentados, poderiam permanecer na base de dados por muito tempo até serem removidas. Outra possibilidade seria tratar estes elementos como elementos temporários dentro do banco de dados, porém é difícil conhecer os prazos para que os elementos não estejam mais presentes, por exemplo: nem sempre é possível determinar o prazo final de uma obra. De modo geral, este projeto trabalhou apenas com a inserção destes elementos no banco de dados, de modo que os usuários que cruzarem o mesmo elemento possam ser alertados. Porém é necessário a realização de estudos para determinar os melhores critérios para a remoção destes elementos.

O Hórus Nav foi desenvolvido como um projeto centrado no usuário, com uma série de interações com os usuários para entender suas necessidades e em conjunto validar informações da estrutura de notas. Além de o uso de dados abertos e de software livre em sua construção favorecer e incitar a pesquisa nesse âmbito, com a popularização deste tipo de ferramenta, mais pessoas podem se sentir motivadas a participar do mapeamento colaborativo. Com mais dados, novas funcionalidades podem ser implementadas, oferecendo assim uma solução aberta e de baixo custo para a mobilidade urbana nas cidades brasileiras, além de auxiliar no empoderamento e garantia dos direitos das pessoas com deficiência.

Os dados mapeados e utilizados pelo Hórus Nav como estado das calçadas, além de serem utilizados para traçar rotas otimizadas para pessoas com deficiência visual, podem também ajudar outras pessoas com mobilidade reduzida, como usuários de cadeira de rodas. Mas o uso dos dados não está limitado a pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida, os dados também podem ser úteis a ciclistas, mães com carrinhos de bebê entre outros, dado que a acessibilidade é uma questão universal.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por se tratar de um protótipo, há uma série de elementos recomendados para a evolução do Hórus Nav, o projeto apresenta um mapeamento de atributos das calçadas, trabalhos futuros podem explorar esse mapeamento e realizar uma classificação mais precisa que considere as variações entre esses elementos, principalmente sobre o tipo de superfície, a classificação para a superfície cascalho, não recebeu diferenciação entre cascalho pequeno (brita) e cascalho médio a grande, porém o tamanho influencia diretamente na qualidade da caminhada. Além da otimização dos atributos existentes, outros atributos poderiam ser mapeados para a otimização do sistema de notas, tais atributos podem ser a inclinação da calçada e sua largura, com um refinamento dos atributos existentes e a adição de novos atributos a rota gerada poderia ser ainda mais otimizada.

Do ponto de vista de desenvolvimento, o Hórus Nav mapeou os principais elementos que podem ser encarados como barreiras durante o deslocamento de pessoas com deficiência visual, porém apenas mapear essas geometrias não é suficiente, análises espaciais podem ser realizadas para evitar determinado trecho devido a existência de alguma barreira sobre a calçada, ou ainda implementar um alerta sonoro que permita identificar essas barreiras de acordo com sua classificação.

A ferramenta de adição de barreiras ao banco está implementada como uma função “*On Click*”. Isso significa que é necessário clicar sobre a posição da barreira, o que torna essa ferramenta uma função presente na aplicação, porém não acessível. Trabalhos futuros poderiam modificar o gatilho de ação da função para que ela fosse acionada sempre que recebesse uma chamada sonora, por exemplo.

Trabalhos futuros também poderiam focar em solucionar o problema encontrado com relação aos itinerários, para que no futuro além de gerar as rotas otimizadas, seja possível realizar o deslocamento por ela enquanto recebe as informações de itinerário do trajeto.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. Mobilidade e acessibilidade: conceitos e novas práticas. *Indústria e Ambiente*, v. 55, p. 12-14, 2006.

ANDRADE, V.; LINKE, C. C. *Cidade de pedestres: A caminhabilidade no Brasil e no mundo*. 1. ed. São Paulo: ITDP, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9050: *Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*, ABNT, 2015.

BOARD, C. Map reading tasks appropriate in experimental studies in cartographic communication. *The Canadian Cartographer*, v. 15, 1976.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. *The Unified Modeling Language User Guide*. 2005. Traduzido por: Elsevier Brasil.

Brasil. “PlanMob”, *Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana*. 2007, Ministério das Cidades.

Brasil. *Lei da Mobilidade decreto de lei Nº 12.587/2012, Política Nacional de Mobilidade Urbana*. 2007. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

COHEN, Achituv; DALYOT, Sagi. Machine-learning prediction models for pedestrian traffic flow levels: Towards optimizing walking routes for blind pedestrians. *Transactions in GIS*, v. 24, n. 5, p. 1264-1279, 2020.

DJANGO PROJECT. *django*, 2005-2022. Meet Django, Disponível em: <<https://www.djangoproject.com>>. Acesso em: 15 de mar. de 2022.

DORNHOFER, M.; BISCHOF, W.; KRAJNC, E. Comparison of Open Source routing services with OpenStreetMap Data for blind pedestrians. *Online Proceedings FOSS4G-Europe*, v. 2014, p. 1-6, 2014.

FELICETTI S. A. et al. *Acessibilidade, orientação e mobilidade: um estudo de caso considerando o ponto de vista de pessoas cegas ou com baixa visão*. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

GOVERNO FEDERAL. Gov.br, 2021. *Acordos de cooperação: Indicadores de Acessibilidade*, Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/mobilidade-e-servicos-urbanos/outras-iniciativas/parcerias-em-andamento/indicadores-de-acessibilidade>>. Acesso em: 14 de mar. de 2022.

ICA. International Cartographic Association. Map Definition. Disponível em: <<https://icaci.org/mission/#:~:text=%2C%20Spain%2C%201995%3A-,Map,Cartography>>. Acesso em: 25 de abril de 2022.

IDREES, A; IQBAL, Z; ISHFAQ M. An efficient indoor navigation technique to find optimal route for blinds using QR codes. IEEE. 2015.

ITDP Brasil. Índice de Caminhabilidade versão 2.0 Ferramenta. 2018.

KAMMOUN, Slim et al. Route selection algorithm for blind pedestrian. In: ICCAS 2010. IEEE, 2010. p. 2223-2228.

KINOSHITA, C. M, et al. A utilização de Frameworks livres no desenvolvimento de aplicações web. In: *Anais do Congresso Nacional Universidade, EAD e Software Livre*.

LARMAN, C. Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development. 2007. 3ª edição. Traduzido por: Bookman.

MANZINI, E. J. Inclusão e acessibilidade. Revista da Sobama, v. 10, n. 1, 2005.
PINHO, R. C. R. Teoria geral da constituição e direitos fundamentais. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

O QUE É INTERFACE DO USUÁRIO?. Workana, 2021. Disponível em: <<https://i.workana.com/guias/o-que-e-interface-do-usuario/>>. Acesso em: 25 de abril de 2022.

REBOUÇAS, C.B. A. et al. Avaliação da qualidade de vida de deficientes visuais. Revista Brasileira de Enfermagem, v. 69, p. 72-78, 2016.

SGANZERLA, Maria Adelina R.; GELLER, Marlise. Tecnologias assistivas para alunos cegos na educação matemática. In: Tise Congreso internacional de informática educativa Perú. 2018. p. 743-746.

TERÁN. J. A, Mobilidade Urbana Sustentável. São Paulo. SP. Ed. Scortecci, 2013.

TERÁN. J. A, Mobilidade Urbana. Companhia de Engenharia de Tráfego - São Paulo, 2015.

APÊNDICE 1 – ROTEIRO PARA PRIMEIRA REUNIÃO

Roteiro para auxiliar na reunião dia 18/03

1 – Realizar a apresentação

- Saudações
- Apresentação da equipe
- Apresentação do projeto e objetivos
 - Rotas otimizadas para pessoas com deficiência visual
 - Aplicação no navegador
 - Itinerários fornecidos de maneira auditiva
 - Informações gerais da rota (distância, tempo)
 - Informações de trajeto (qualidade da calçada, inclinação, existência de piso podotátil)
 - Informações de possíveis obstáculos (árvores, postes, placas e afins)
- Espaço para perguntas

2 – Diálogo principal

- Expectativas em relação ao projeto, opinião a respeito do projeto etc.
- Principais dificuldades enfrentadas na mobilidade urbana
- Sugestões de modo geral

3 – Finalização

- Espaço para comentários gerais
- Agradecimentos e despedida

Tempo estimado para cada tópico

1 – Entre 10 e 20 minutos

2 – Entre 10 e 20 minutos

3 – Entre 5 e 10 minutos

Tempo mínimo de reunião calculado: 25 minutos

Tempo máximo de reunião calculado: 50 minutos

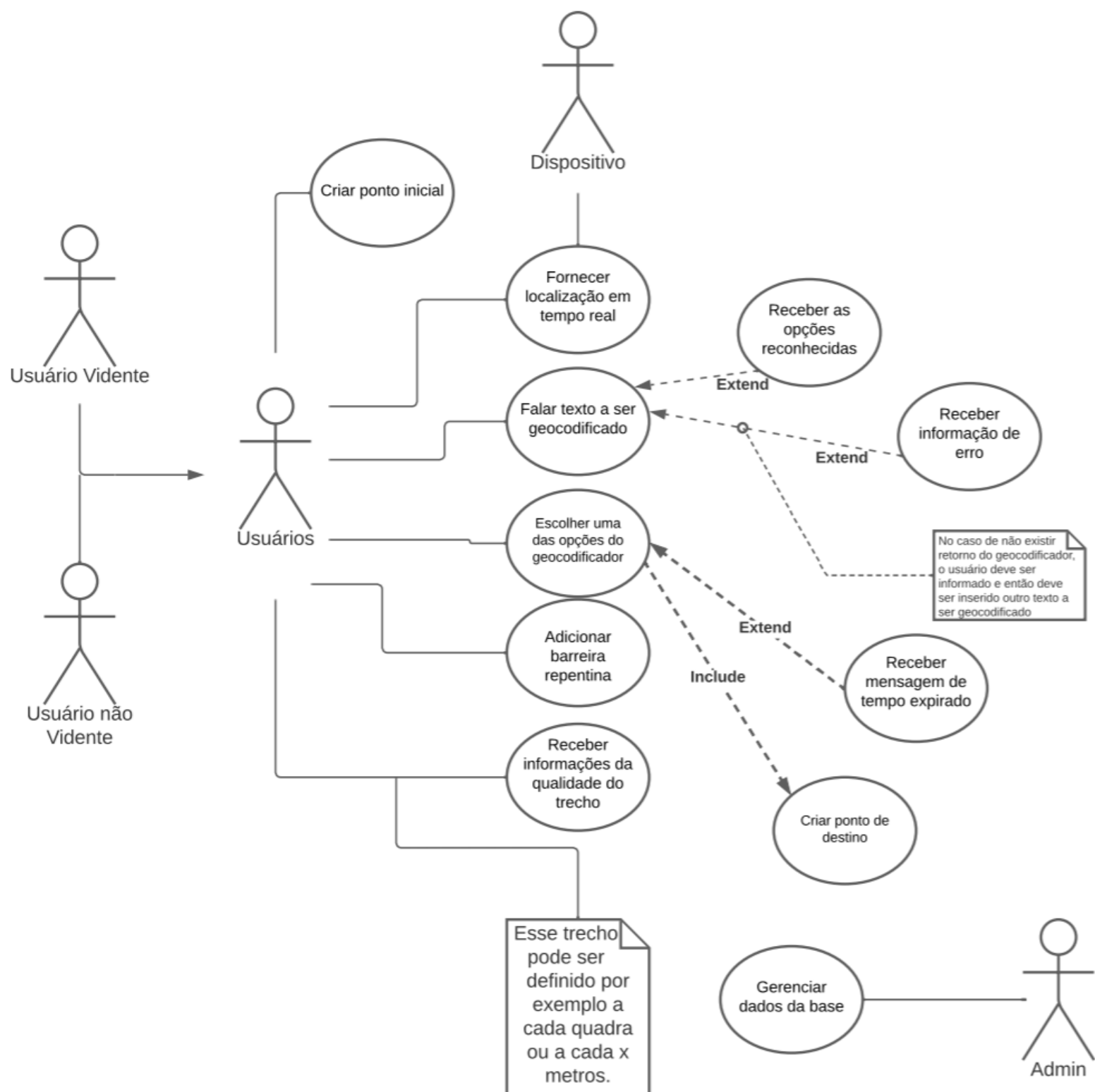
Objetivo: Coletar o máximo de informações possíveis em relação a necessidade dos usuários e deixar claro o quanto sua participação é fundamental no desenvolvimento do projeto.

APÊNDICE 2 – FORMULÁRIO PARA SEGUNDA REUNIÃO

Formulário utilizado na segunda reunião:

Disponível em: <https://forms.gle/ZYaB6i1cZNp3XptG7>

APÊNDICE 3 – DIAGRAMA DE CASOS DE USO



APÊNDICE 4 – DIAGRAMA DE CLASSES

