

Victor Augusto de Lima Cruz

Estudo de Acessibilidade Multimodal a espaços de grandes eventos em Belo Horizonte

Pesquisa Mista

Orientador: Clodoveu Augusto Davis Jr.

Belo Horizonte, Minas Gerais
2023

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
1.1 Problema e importância	3
1.2 Objetivo Geral dos trabalhos das disciplinas MSI I e MSI II:	3
1.2.1 Objetivos específicos da MSI I:	3
2. REFERENCIAL TEÓRICO	4
3. CONTRIBUIÇÃO	5
3.1. Análise exploratória dos dados	5
3.2. Implementação dos dados em um SGBD	7
3.3. Implementação da ferramenta para criação de rotas	7
3.3.1. API para criação das rotas	8
3.3.2. Interface web	9
4. Conclusões e trabalhos futuros	9
REFERÊNCIAS	12

1. INTRODUÇÃO

1.1 Problema e importância

O tema proposto como MSI é o da mobilidade urbana e acessibilidade a espaços de grandes eventos em uma metrópole. Nesse sentido, propõe-se como pergunta: como se dá a dinâmica da mobilidade na cidade de Belo Horizonte considerando os meios de transporte disponíveis e sua vazão por ocasião da realização de grandes eventos?

O tópico é relevante e atual, pois, em julho de 2023, entrou em funcionamento mais um espaço para realização de grandes eventos em Belo Horizonte: a Arena MRV. E o projeto que prevê seu funcionamento exige a adoção de medidas que diminuam seu impacto na infraestrutura urbana.

Por meio do trabalho, a intenção é contribuir com uma avaliação de possíveis impactos de mobilidade na região e no transporte local com a realização dos eventos realizados na Arena MRV, bem como no Mineirão e no Expominas.

Essas análises de impacto podem ser replicadas para outros espaços de evento e são fundamentais para o planejamento urbano, pois possibilitam medidas como criação de novas linhas, alteração de horários e maior desempenho do transporte público na região.

1.2 Objetivo Geral dos trabalhos das disciplinas MSI I e MSI II:

Analisar a acessibilidade a locais de realização de grandes eventos em Belo Horizonte, a partir de uma rede de transporte multimodal (MUTN).

1.2.1 Objetivos específicos da MSI I:

- Estudar como funciona uma MUTN;
- Implementar a MUTN de Belo Horizonte, desenvolvida no trabalho de Smarzaró (2023);
- Realizar testes e análise de dados da MUTN;
- Implementar a Interface para uso da MUTN;
- Realizar testes e análise do funcionamento do roteamento na MUTN via interface criada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Em Chen (2011), é descrito que uma *multimodal urban transportation network* (MUTN), ou rede de transporte urbana multimodal, tem que conter dados de infraestrutura, como ruas, trilhos de metrô e pontos de ônibus, e de meios de transporte de cada trecho, como carros, ônibus e percursos de caminhada. Além disso, a rede também precisa conter as formas de conexão entre os meios, o que é importante para visualizar as propriedades estáticas e dinâmicas do sistema.

Na dissertação de Smarzaro (2023), é feita uma MUTN para Belo Horizonte. Essa rede criada possui os dados das linhas de ônibus e da linha de metrô de Belo Horizonte. Além dos transportes públicos, também há dados de rotas caminháveis, e das ruas da cidade. A MUTN foi construída utilizando tanto dados oficiais quanto, também, dados obtidos por *crowdsourcing*, advindos de *OpenStreetMap*, *Foursquare*, *Facebook Places*, *Google Places*, e *Yelp*.

Ainda em Smarzaro (2023), essa rede multimodal é utilizada para criar rotas entre dois pontos, utilizando formas de locomoção desejadas. Nesse sentido, é possível visualizar os trechos que estão sendo utilizados, a forma de locomoção em cada um deles, a distância e o tempo do trajeto.

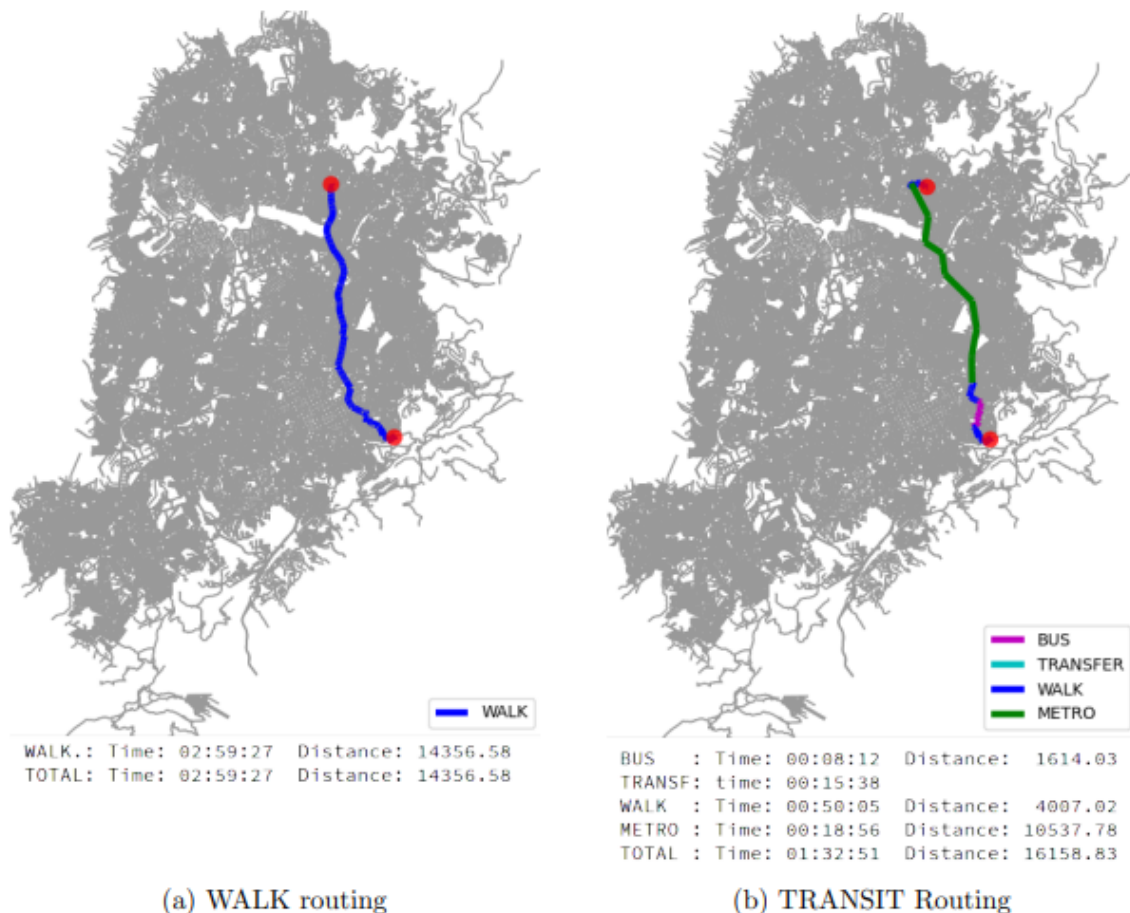


Figura 1 - Exemplo de resultados de roteamento na MUTN

3. CONTRIBUIÇÃO

3.1. Análise exploratória dos dados

Os dados da MUTN utilizada neste trabalho foram cedidos por Rodrigo Smarzaro em formato de um grafo, por meio da biblioteca *networkx* da linguagem de programação *Python*. A primeira etapa do estudo consistiu na realização de uma análise exploratória desses dados, os quais foram representados no formato de um grafo direcionado. Destaca-se que esse grafo apresenta atributos tanto nos nós quanto nas arestas.

Além disso, a direcionalidade do grafo é justificada pela natureza das vias, as quais podem ser percorridas em apenas uma direção por um determinado meio de transporte. Especificamente, os trechos destinados a pedestres possuem arestas em ambos os sentidos, refletindo a possibilidade de caminhar em ambas as direções. Essa característica oferece uma representação fiel da realidade do

sistema de transporte multimodal em Belo Horizonte e permite a criação das rotas desejadas.

id	Identificador único associado a cada nó na rede
x	Longitude do nó
y	Latitude do nó
geom	Representação espacial do nó no formato de um ponto
type	Categorização do nó em nó de transferência de modo, de estação e de junção da rede
from_mode	Indicação do meio de transporte de partida da transferência de modo
to_mode	Indicação do meio de transporte de destino da transferência de modo

Tabela 1 - Principais dados contidos nos 140858 nós

source	ID do nó de partida
target	ID do nó de chegada
bearing	Orientação entre o ponto de origem e o ponto de destino da aresta em graus.
cost	Peso usado para fazer o roteamento, Custo de trafegar a aresta em segundos.
geometry	Geometria da aresta
length	Tamanho da aresta no SRID 31983
mode	Meio de transporte da aresta
type	Tipo da aresta
timetable	Linha de ônibus ou metrô em conjunto com os horários
level	Tipo de via, para definir limites de velocidade padrão
maxspeed	Velocidade máxima permitida na aresta
modes	Meios de transporte suportados
name	Nomes da Rua/Avenida

Tabela 2 - Principais dados contidos nas 834470 arestas

A tabela apresenta uma visão abrangente dos nós e arestas que compõem a MUTN de Belo Horizonte. O entendimento de cada atributo foi fundamental para a execução dos roteamentos na rede. A análise dos dados contidos na tabela permitiu

identificar padrões, e entender como são feitas escolhas de rotas. Mais especificamente, foi possível entender quais atributos são ou poderiam ser usados para calcular o custo, essencial para os algoritmos de roteamento.

3.2. Implementação dos dados em um SGBD

Após compreender os dados em si, optou-se por armazená-los de maneira organizada e de fácil acesso em um banco de dados. Utilizou-se o *PostgreSQL* 14.6¹ em conjunto com a extensão para dados espaciais *PostGIS* 3.3.1². Essa combinação possibilita não apenas o armazenamento eficiente de todos os dados, mas também a realização de consultas e operações espaciais.

Todos os atributos presentes no grafo fornecido, inclusive o custo associado a cada aresta, foram integrados ao *PostgreSQL*. Junto ao grafo, também foram cedidas as funções em Python responsáveis por definir os atuais custos das arestas. Essas funções podem ser adaptadas para gerar rotas melhores ou com critérios específicos. Um exemplo seria uma busca que leva em conta mobilidade reduzida, desfavorecendo trajetos de caminhada na função de custo utilizada para o roteamento.

Essa abordagem não apenas proporciona uma estrutura organizada para os dados, simplificando a manipulação e recuperação de informações, mas também oferece a capacidade de realizar análises de maneira mais simples que no grafo. Esse processo também facilita a atualização da MUTN, melhorando sua gestão.

3.3. Implementação da ferramenta para criação de rotas

Com a implementação do banco de dados, tornou-se possível realizar consultas de maneira eficiente. Na criação das rotas, foi utilizada a extensão *pgRouting* 3.4.1³ do *PostgreSQL*. , que possibilita a criação de diversos tipos de rotas no grafo utilizando algoritmos como Dijkstra e A*.

Visando facilitar o roteamento dentro dessa rede e assegurar sua utilidade para análises futuras, foi desenvolvida uma API e uma interface para visualização. Esses componentes representam os principais resultados deste trabalho,

¹ <https://www.postgresql.org/>

² <https://postgis.net/>

³ <https://pgrouting.org/>

proporcionando uma maneira intuitiva e acessível de interagir com a MUTN em Belo Horizonte.

3.3.1. API para criação das rotas

A API criada para fazer o roteamento na rede foi implementada em *Python* utilizando as bibliotecas *Flask*, um *framework WEB* para construção da API, e *SQLAlchemy*, para execução de consultas ao banco.

A API possui uma rota POST (*/api/route*) que espera os seguintes parâmetros:

lat1	Latitude do ponto de origem
lon1	Longitude do ponto de origem
lat2	Latitude do ponto de destino
lon2	Longitude do ponto de destino
proj	Projeção dos pontos fornecidos
modes_excluded	Lista dos meios de transporte que não devem ser usados para criar a rota

Tabela 3 - Parâmetros da API

Esses parâmetros são recebidos pela API e inseridos em uma consulta ao banco de dados que utiliza uma função da extensão *pgRouting* que executa o algoritmo de Dijkstra na MUTN. A rota entre duas localidades é criada considerando a proximidade entre as coordenadas geográficas dos nós da rede correspondentes às duas.

A criação de rotas para veículos particulares é tratada separadamente da criação de rotas usando demais meios de transporte. Nesse caso, a rota consiste em partir de um nó do tipo “carro” e alcançar o nó mais próximo do destino que represente a transferência de “carro” para “caminhada”, onde o carro poderia estacionar. Em seguida, o trajeto segue até o nó de “caminhada” mais próximo do destino.

As demais rotas partem do nó de ‘caminhada’ mais próximo do ponto de partida e vão até o nó de ‘caminhada’ mais próximo do destino.

A API isola essas diferenças na criação das rotas, retornando o caminho de menor custo total das arestas. Ela retorna o custo total do caminho em segundos, o

comprimento das arestas do caminho considerando o *SRID 31983*. Além disso, é retornado um *GeoJSON*, formato de padrão aberto para representar recursos geográficos simples juntamente com seus atributos não espaciais. Esse *GeoJSON* contém as geometrias das arestas utilizadas na rota, além do meio de transporte delas e, em caso de aresta de tipo ‘ônibus’, a linha de ônibus usada.

A API retorna informações abrangentes sobre o caminho calculado, como o custo total do percurso, expresso em segundos, e o comprimento das arestas do caminho, considerando o *SRID 31983*. Além disso, a API fornece um *GeoJSON*, um formato de padrão aberto usado para representar recursos geográficos simples juntamente com seus atributos não espaciais.

Esse *GeoJSON* contém as geometrias das arestas utilizadas na rota, fornecendo uma representação visual do trajeto. Adicionalmente, são incluídos detalhes sobre o modo de transporte de cada aresta, e, em casos específicos de arestas de ônibus, a linha de ônibus utilizada é também disponibilizada.

Essa abordagem oferece uma visão completa das rotas geradas, permitindo uma análise do caminho percorrido em termos de tempo, distância e modalidades de transporte.

3.3.2. Interface web

Para visualizar as rotas geradas pela API e proporcionar uma forma intuitiva de interação, foi desenvolvida uma interface web com a ferramenta Mappia⁴. Ela permite criar mapas interativos, e seu uso visa ajudar a consumir os dados de maneira mais simples e visual.

A interface permite a seleção de um ponto de partida e de um ponto de destino diretamente no mapa. Os usuários têm a capacidade de criar rotas entre esses dois pontos utilizando a API, e, além disso, podem determinar quais meios de transporte não devem ser considerados.

Essa interface proporciona uma experiência prática e flexível, permitindo a visualização das rotas da API e a escolha dos meios de transporte permitidos.

4. Conclusões e trabalhos futuros

Em suma, este trabalho abordou a criação de rotas em uma MUTN em Belo Horizonte, utilizando uma abordagem que consiste na estruturação das informações

⁴ <https://mappiaearth.github.io/>

em um banco de dados, na elaboração e na visualização das rotas. A implementação utilizando o *PostgreSQL* em conjunto com a extensão *PostGIS* proporcionou uma estrutura robusta para armazenar e para consultar os dados da rede, enquanto a ferramenta *pgRouting* facilitou a criação eficiente de rotas utilizando algoritmos como Dijkstra e A*.

A API desenvolvida, aliada à interface *web* construída com a ferramenta Mappia, oferece uma solução prática para a visualização e a personalização de rotas, permitindo a interação de maneira flexível com a MUTN.

Como próxima etapa, no MSI II, planeja-se utilizar a API desenvolvida para conduzir análises de acessibilidade em locais de grandes eventos em Belo Horizonte, como a Arena MRV e o Mineirão. Essas análises são fundamentais para o planejamento urbano, pois possibilitam o planejamento de iniciativas que visam aprimorar o transporte público na cidade, como a criação de novas linhas e a alteração de horários.

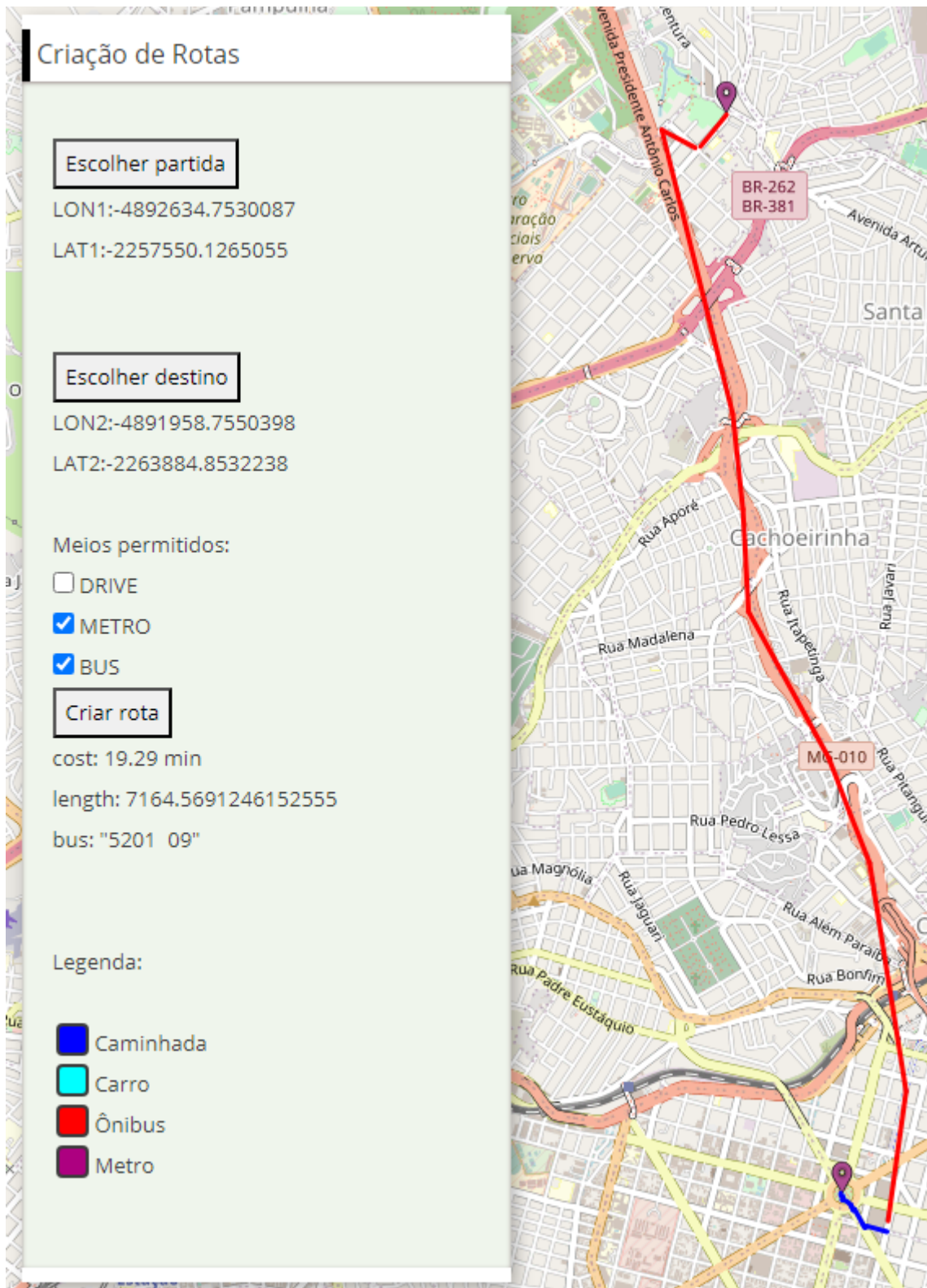


Figura 2 - Exemplo de rota de ônibus criada na interface WEB

REFERÊNCIAS

CHEN, Shaopei et al. Multi-scale and multi-modal GIS-t data model. *Journal of Transport Geography*, 19(1):147–161, January 2011.

FONTES, Letícia. Arena MRV: Câmara aprova projeto que libera funcionamento do estádio do Galo. **O Tempo**. 03 ago. 2023. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/politica/arena-mrv-camara-aprova-projeto-que-libera-funcionamento-do-estadio-do-galo-1.2988916> Acesso em: 06 set. 2023

SMARZARO, Rodrigo et al. Creation of a Multimodal Urban Transportation Network through Spatial Data Integration from Authoritative and Crowdsourced Data. *International Journal of Geo-Information*, [S. l.], 9 jul. 2021

SMARZARO, Rodrigo. Spatial Data Integration from Heterogeneous Sources for Urban Computing. Orientador: Clodoveu Augusto Davis Jr. 2023. Dissertação (Doutor em Ciência da computação) - Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2023.