



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
CAMPUS TRINDADE
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

MATEUS OLIVEIRA BRITO

**O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE APLICADO À ROTEIRIZAÇÃO
TURÍSTICA: APLICATIVO MÓVEL PARA VISITANTES DE TRINDADE-GO**

Trindade
2025

MATEUS OLIVEIRA BRITO

**O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE APLICADO À ROTEIRIZAÇÃO
TURÍSTICA: APLICATIVO MÓVEL PARA VISITANTES DE TRINDADE-GO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Bacharelado em Engenharia de
Computação do Instituto Federal Goiano,
Campus Trindade, como parte da exigência
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Computação.

Orientador: Dr. Renato de Sousa Gomide
Coorientador: Esp. Renato Milhomem de
Oliveira Filho

Trindade
2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

B862p Brito, Mateus Oliveira
 O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE APLICADO À
 ROTEIRIZAÇÃO TURÍSTICA: APLICATIVO MÓVEL PARA
 VISITANTES DE TRINDADE-GO / Mateus Oliveira Brito.
 Trindade 2025.

19f. il.

Orientador: Prof. Dr. Renato de Sousa Gomide.
Coorientador: Prof. Esp. Renato Milhomem de Oliveira Filho.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0820303 -
Bacharelado em Engenharia de Computação - Trindade (Campus
Trindade).

1. Problema do caixeiro viajante. 2. Roteirização turística. 3.
Turismo religioso. 4. OSRM. 5. OR-tools. I. Título.



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem resarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA: TCC

Autores:

Nome	Matrícula
Mateus Oliveira Brito	2020108203030032

Documento confidencial: Não

O documento está sujeito a registro de patente? Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Trindade, 16 de dezembro de 2025.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Renato de Sousa Gomide, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 16/12/2025 13:04:29.
- **Mateus Oliveira Brito, 2020108203030032 - Discente**, em 16/12/2025 14:50:34.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 16/12/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 775269

Código de Autenticação: c141282cbc



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Trindade

Av. Wilton Monteiro da Rocha, S/N, Setor Cristina II, TRINDADE / GO, CEP 75389-269

(62) 3506-8000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÉNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 48/2025 - CE-TRI/GE-TRI/CMPTRI/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 10 dias do mês de dezembro de 2025, às 19 horas e 30 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: **Renato de Sousa Gomide** (orientador), **Renato Milhomem de Oliveira Filho** (co-orientador), **Adson Silva Rocha** (membro) e **Jaqueleine Alves Ribeiro** (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “**O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE APLICADO A ROTEIRIZAÇÃO TURÍSTICA: APlicativo MÓVEL PARA VISITANTES DE TRINDADE-GO**” do estudante **Mateus Oliveira Brito**, Matrícula nº **2020108203030032** do Curso de Bacharelado em Engenharia de Computação do IF Goiano – Campus Trindade. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição dos candidatos pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** do estudante, com nota igual a **10**. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Renato de Sousa Gomide

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Renato Milhomem de Oliveira Filho

Co-orientador

(Assinado Eletronicamente)

Adson Silva Rocha

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Jaqueleine Alves Ribeiro

Membro

Documento assinado eletronicamente por:

- **Renato de Sousa Gomide, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 10/12/2025 20:28:01.
- **Adson Silva Rocha, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 10/12/2025 20:28:58.
- **Jaqueline Alves Ribeiro, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 10/12/2025 20:28:58.
- **Renato Milhomem de Oliveira Filho, TECNICO DE LABORATORIO AREA**, em 10/12/2025 20:29:21.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/12/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 773326

Código de Autenticação: 2b688825cb



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Trindade

Av. Wilton Monteiro da Rocha, S/N, Setor Cristina II, TRINDADE / GO, CEP 75389-269

(62) 3506-8000

O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE APLICADO À ROTEIRIZAÇÃO TURÍSTICA: APLICATIVO MÓVEL PARA VISITANTES DE TRINDADE-GO

Mateus Oliveira Brito¹

Renato de Sousa Gomide²

Renato Milhomem de Oliveira Filho³

RESUMO

O turismo religioso é um setor de destaque no Brasil, e a cidade de Trindade-GO configura-se como um importante polo de peregrinação. O objetivo deste trabalho é apresentar um aplicativo móvel para roteirização turística, formulado como uma aplicação do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), visando apoiar visitantes no planejamento de seus deslocamentos. Como método, as rotas são calculadas por meio da biblioteca *Google OR-Tools*, utilizando a heurística *PathCheapestArc* associada a uma etapa de refinamento por busca local, sobre matrizes de distâncias obtidas a partir do *Open Source Routing Machine (OSRM)*. Como resultados, o sistema foi capaz de gerar rotas personalizadas com base na localização do usuário, apresentando tempo médio de resposta inferior a quatro segundos nos testes realizados. Conclui-se que o protótipo desenvolvido demonstrou viabilidade técnica e potencial para contribuir com a experiência turística em contextos de turismo religioso.

Palavras-chave: Problema do Caixeiro Viajante; turismo religioso; OSRM; *OR-Tools*.

ABSTRACT

Religious tourism is a prominent sector in Brazil, and the city of Trindade-GO stands out as an important pilgrimage destination. The objective of this work is to present a mobile application for tourist route planning, formulated as an application of the Traveling Salesman Problem (TSP), aiming to support visitors in planning their movements. As a method, routes are computed using the Google OR-Tools library, applying the PathCheapestArc heuristic combined with a local search refinement stage, based on distance matrices obtained from the Open Source Routing Machine (OSRM). As results, the system was able to generate personalized routes according to the user's location, achieving average response times below four seconds in the performed tests. It is concluded that the developed prototype demonstrated technical feasibility and potential to enhance the tourist experience in religious tourism contexts.

Keywords: Traveling Salesman Problem; religious tourism; OSRM; *OR-Tools*.

¹. Graduando em Engenharia de Computação no Instituto Federal Goiano, Campus Trindade. E-mail: mateus.brito@estudante.ifgoiano.edu.br.

². Dr. Renato de Sousa Gomide, Professor no Instituto Federal Goiano, Campus Trindade. Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). E-mail: renato.gomide@ifgoiano.edu.br.

³ Esp. Renato Milhomem de Oliveira Filho, Técnico de Laboratório na Área de Eletrotécnica no Instituto Federal Goiano, Campus Trindade. Especialista em Matemática pelo Instituto Federal de Goiás (IFG). E-mail: renato.filho@ifgoiano.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O turismo é um dos setores que mais cresce globalmente, sendo um motor econômico e social significativo (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DO TURISMO, 2025). No Brasil, o turismo religioso destaca-se como um segmento de grande relevância, atraindo milhões de visitantes anualmente à cidades com forte apelo de fé. Trindade, no estado de Goiás, é um exemplo proeminente, sendo um polo de peregrinação que movimenta intensamente a economia local (Silva, 2016; Trindade, 2023).

A crescente movimentação dos visitantes torna necessário o uso de soluções tecnológicas para otimizar a experiência turística. A tarefa de determinar um percurso eficiente que conecte diversos Pontos de Interesse (POIs) configura um problema de planejamento de rotas, no qual é necessário decidir a ordem das visitas. Segundo Gavalas et al. (2014), esse tipo de tarefa pode ser modelada como um desafio clássico da Ciência da Computação e da Pesquisa Operacional: o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), também conhecido como *Traveling Salesman Problem (TSP)*.

O PCV busca encontrar a rota de menor custo (podendo ser a distância ou o tempo) que visita um conjunto de cidades (ou, neste contexto, POIs) exatamente uma vez, retornando ao ponto de partida (Gomes, 2022). Devido à sua natureza NP-difícil, a resolução exata do PCV é inviável para instâncias grandes, tornando fundamental a aplicação de heurísticas e meta-heurísticas para encontrar soluções de qualidade em tempo hábil (Prestes, 2006).

Diante desse contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um aplicativo móvel para roteirização turística, voltado especificamente aos visitantes de Trindade-GO. A solução proposta utilizou a biblioteca *OR-Tools* (Google, 2025), consolidada em aplicações de otimização, a partir da estratégia *PathCheapestArc*, que corresponde à heurística do Vizinho Mais Próximo (VMP). Essa abordagem opera sobre um grafo dos principais pontos turísticos, gerando rotas personalizadas e eficientes.

Nesse sentido, a principal contribuição deste trabalho reside na validação da aplicação da heurística VMP (*PathCheapestArc*) e do uso da biblioteca *OR-Tools* em um contexto real e restrito de roteirização urbana turística, resultando no desenvolvimento de um aplicativo móvel que demonstrou a capacidade de organizar roteiros turísticos de forma simples e eficaz.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A teoria dos grafos fornece a base matemática para representar relações entre entidades. Um grafo é definido como um par $G = (V, E)$, em que V é o conjunto de vértices e E é o conjunto de arestas que conectam pares de vértices (Gomes, 2022). Essa estrutura permite modelar problemas de deslocamento, em que os vértices representam locais e as arestas, possíveis conexões entre eles.

A roteirização é o processo de planejar a sequência de deslocamentos entre diferentes vértices, com o objetivo de otimizar critérios como distância, tempo ou custo, respeitando restrições do problema (Toth; Vigo, 2014). No turismo, a roteirização turística refere-se à organização e integração de atrativos, serviços e infraestrutura de apoio, visando estruturar roteiros que favoreçam o desenvolvimento socioeconômico das regiões envolvidas (Brasil, 2007).

Um dos problemas clássicos relacionados é o PCV, que consiste em determinar o ciclo de menor custo que visita todos os vértices de um grafo exatamente uma vez e retorna ao ponto de origem. Por ser classificado como um problema NP-difícil, a resolução exata do PCV torna-se inviável em grandes instâncias, devido ao crescimento exponencial da complexidade computacional (Prestes, 2006).

O modelo clássico do PCV é formulado como um problema de programação inteira binária. Essa formulação, proposta por Dantzig, Fulkerson e Johnson (1954), é amplamente utilizada como base para heurísticas e extensões do PCV. A seguir, é apresentada a modelagem matemática correspondente:

Minimizar:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad (I)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1, j \neq i}^m x_{ij} = 1 \quad \forall i \in M \quad (II)$$

$$\sum_{i=1, i \neq j}^m x_{ij} = 1 \quad \forall j \in M \quad (III)$$

$$\sum_{i \in S, j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset M, 2 \leq |S| \leq m - 2 \quad (IV)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in M \quad (V)$$

Nesse modelo, c_{ij} representa o custo do deslocamento entre os vértices i e j , enquanto x_{ij} é uma variável binária que vale 1 se o arco $i \rightarrow j$ é percorrido e 0 caso contrário. M é o conjunto de vértices do grafo, com $m = |M|$; $S \subset M$ é um subconjunto próprio usado nas restrições de eliminação de sub-rotas.

A função objetivo apresentada na equação (I) busca minimizar o custo total do percurso, somando os custos associados a cada arco selecionado no grafo. As restrições (II) e (III) asseguram que cada vértice do conjunto M possua exatamente uma aresta de saída e uma de entrada, garantindo que todos os pontos sejam visitados exatamente uma vez. A restrição (IV) elimina a ocorrência de sub-rotas, assegurando que a solução forme um único ciclo hamiltoniano que percorre todos os vértices. Por fim, a restrição (V) define o caráter binário das variáveis de decisão, indicando se um arco é ou não incluído na rota. Essa formulação é amplamente utilizada para o desenvolvimento de abordagens heurísticas e meta-heurísticas.

Para superar a inviabilidade da resolução do PCV puro, a literatura apresenta diferentes heurísticas e meta-heurísticas. As heurísticas construtivas, como o VMP, constroem soluções iniciais de maneira incremental e rápida, mas não garantem proximidade da solução ótima (Goldbarg; Goldbarg, 2012; Gomes, 2022). Já as heurísticas de melhoria, ou operadores de vizinhança, como os métodos *2-opt* e *3-opt*, visam refinar rotas iniciais, explorando a vizinhança de soluções existentes para reduzir o custo total (Cunha; Bonasser; Abrahão, 2002). Além disso, meta-heurísticas como Algoritmos Genéticos, *Simulated Annealing*, Colônia de Formigas e Busca Tabu foram amplamente estudadas e oferecem estratégias flexíveis e adaptáveis para melhorar soluções em instâncias de maior porte (Sauer, 2007).

No desenvolvimento recente de sistemas de roteirização, o uso de bibliotecas de otimização tem se mostrado um recurso eficaz para diferentes aplicações do PCV. A biblioteca *Google OR-Tools* se destaca por oferecer algoritmos de otimização combinatória, entre eles a estratégia *PathCheapestArc*, equivalente à heurística VMP, possibilitando sua aplicação direta em problemas reais de roteirização (Google, 2025).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

O PCV é um clássico da Otimização Combinatória e frequentemente serve como base para problemas mais complexos como o Problema de Roteamento de Veículos (PRV). Para

ambos, a resolução exata torna-se inviável em instâncias com muitos vértices, justificando o uso de heurísticas e meta-heurísticas como alternativas eficientes.

Prestes (2006) conduziu um estudo experimental sobre abordagens heurísticas aplicadas ao PCV, comparando o desempenho de estratégias construtivas (como VMP), heurísticas de melhoria (como *2-opt*, *3-opt* e Inserção Mais Barata) e meta-heurísticas (como os Algoritmos Genéticos). Os resultados mostraram que o operador *2-opt* oferece uma melhoria significativa sobre rotas iniciais com custo computacional reduzido, sendo uma alternativa eficaz para instâncias de pequeno e médio porte. O autor destaca que, embora o operador *3-opt* gere soluções potencialmente melhores, seu tempo de execução é consideravelmente mais alto, o que pode inviabilizar sua aplicação em contextos que exigem resposta rápida.

De forma complementar, Duarte, Cruz e Yoshizaki (2023) propuseram uma heurística baseada em busca local para o problema de roteirização de veículos capacitados em duas camadas (*2E-CVRP*). Esse estudo empregou operadores de vizinhança baseados no *2-opt* e alcançou soluções com menos de 8% de diferença em relação à solução ótima, mantendo tempos de execução abaixo de 10 segundos. Embora o foco seja a logística urbana, os autores destacaram que a abordagem é adequada a qualquer sistema que demande agilidade, simplicidade e desempenho consistentes, que são características alinhadas ao contexto de roteirização turística.

Já a dissertação de Benevides (2023) investigou o desempenho de diferentes heurísticas e meta-heurísticas aplicadas ao PCV em um problema real de roteirização de veículos com dados fornecidos por uma empresa parceira. O estudo comparou algoritmos como VMP, *2-opt*, *3-opt*, Algoritmo Genético e *Simulated Annealing*. Embora os resultados dos cenários analisados não elejam o VMP seguido do *2-opt* como melhor solução, nota-se que essa combinação apresenta qualidade de solução satisfatória em relação às demais meta-heurísticas testadas.

Com base nessas contribuições, o presente trabalho adota uma estratégia baseada na heurística VMP (implementada via o método *PathCheapestArc* da biblioteca *OR-Tools*) e no operador *2-opt* para melhoria de rotas. Essa combinação é justificada por seu bom desempenho computacional e por sua adequação ao contexto da roteirização turística em dispositivos móveis, no qual qualidade e performance são fatores críticos para a experiência do usuário (Weichbroth, 2025; Costa et al., 2019).

Além da análise algorítmica pura, é fundamental situar a solução proposta deste trabalho em relação às aplicações de estratégias mais bem elencadas na literatura. A literatura apresenta ferramentas às quais este trabalho se posiciona de forma distinta.

Diversos estudos, conforme levantado no *survey* de Gavalas et al. (2014), propõem o uso de meta-heurísticas complexas, como Colônia de Formigas ou Algoritmos Genéticos, visando a otimização global precisa. No entanto, tais abordagens frequentemente demandam alto custo computacional e tempo de processamento elevado, o que pode degradar a experiência do usuário em dispositivos móveis.

Em contraste, a abordagem deste trabalho, ao empregar a heurística construtiva *PathCheapestArc* via *Google OR-Tools* sobre matrizes do *OSRM*, busca um equilíbrio entre qualidade da solução e desempenho. Diferentemente de sistemas acadêmicos de alta latência, a solução proposta oferece roteirização dinâmica com tempo de resposta compatível com a usabilidade em tempo real, validando sua aplicabilidade no contexto específico do fluxo de visitantes em Trindade-GO.

4 METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido como uma pesquisa aplicada, uma vez que buscou desenvolver uma solução prática voltada ao planejamento de rotas turísticas na cidade de Trindade-GO. Segundo Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa aplicada visa gerar conhecimentos com aplicação direta em problemas voltados aos interesses locais.

A investigação teve caráter descritivo e exploratório, fundamentada na organização do contexto turístico e na aplicação de heurísticas de roteirização.

Os dados utilizados foram de natureza secundária, coletados em fontes públicas de acesso livre, principalmente o Portal do Turismo e Cultura de Trindade (Trindade, 2025), complementados por informações da literatura técnica e científica sobre heurísticas de otimização aplicadas ao PCV.

A Tabela 1 apresenta a relação dos materiais computacionais empregados no desenvolvimento deste trabalho.

Tabela 1 – Materiais Computacionais

Material	Versão	Descrição
.NET	8.0	Plataforma de Desenvolvimento
ASP.NET Core	8.0	Framework para Desenvolvimento Web

C#	12	Linguagem de Programação
PostgreSQL	14.18	Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD)
PgAdmin	4	Cliente para Manipulação do SGBD
<i>Entity Framework Core</i>	8.0.11	<i>Framework de Mapeamento Objeto-Relacional (Object-Relational Mapping – ORM)</i>
<i>Google OR-Tools</i>	9.14.6206	Biblioteca de Otimização Combinatória
<i>Open Source Routing Machine (OSRM)</i>	6.0.0	Motor de Roteamento de Código Aberto
<i>MapLibre</i>	12.3.0	Biblioteca para Criação de Mapas Interativos
Android SDK	API Level 36	Kit de Desenvolvimento de Aplicações para Sistema Operacional Android
Java	11	Linguagem de Programação
Telefone Celular com Sistema Operacional Android (Samsung Galaxy M51)	Android 12	Dispositivo Físico para Testes

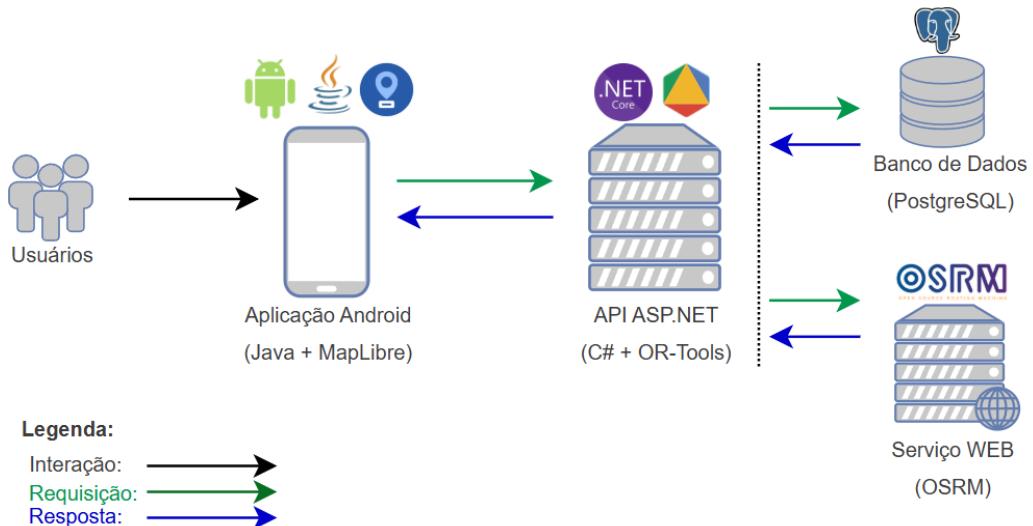
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

O método adotado consistiu em integrar essas ferramentas em um protótipo funcional capaz de processar dados turísticos, aplicar algoritmos de roteirização e disponibilizar as rotas de forma visual em dispositivos móveis. A avaliação dos resultados foi de natureza qualitativa, baseada em testes funcionais, verificando se o sistema atendia às funcionalidades propostas e se a heurística produzia rotas consistentes e personalizadas ao ponto de partida do usuário.

5 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Para fornecer uma visão integrada do funcionamento do sistema proposto, a Figura 1 apresenta a arquitetura geral da solução desenvolvida. Nela são ilustradas as principais camadas e tecnologias empregadas, bem como as interações entre os componentes.

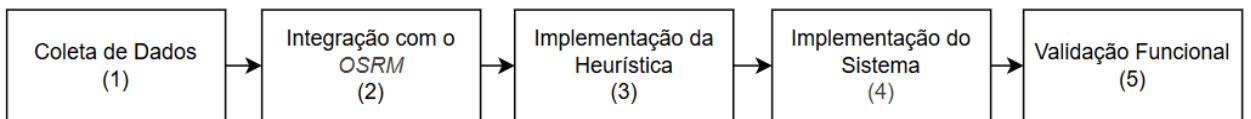
Figura 1 – Diagrama da Arquitetura Geral do Sistema



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A partir da estrutura geral apresentada, as etapas de desenvolvimento foram organizadas de forma sequencial em cinco etapas, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma Geral do Desenvolvimento do Sistema



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

5.1. Coleta de dados

Na etapa de coleta de dados, os pontos turísticos de interesse foram identificados manualmente a partir do Portal do Turismo e Cultura de Trindade (Trindade, 2025). As informações coletadas dos pontos turísticos foram: nome, endereço, imagem, coordenadas geográficas, horários de funcionamento e contexto histórico. Posteriormente, esses dados foram inseridos no banco de dados da aplicação.

Os 72 pontos turísticos selecionados correspondem aos atrativos oficialmente divulgados no Portal do Turismo e Cultura de Trindade. Pontos com informações incompletas, como horário de funcionamento ou contexto histórico não foram excluídos do conjunto final. Não foi realizado agrupamento de pontos por proximidade, sendo cada atrativo tratado como um POI independente.

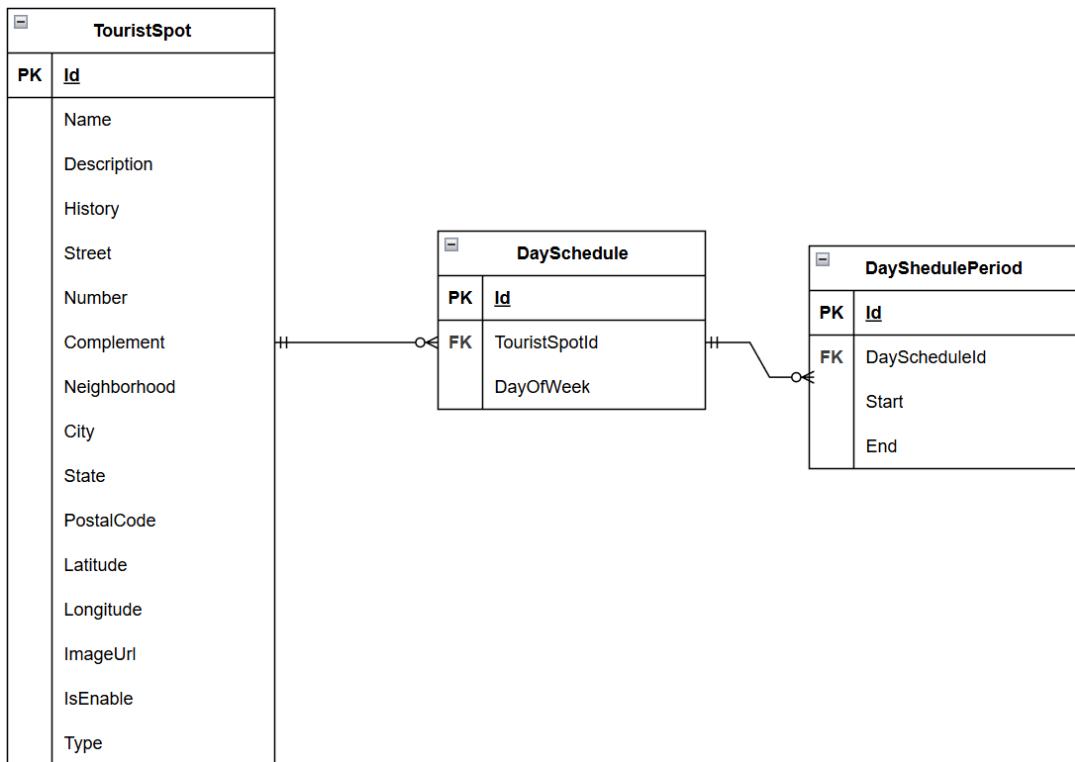
5.1.1 Modelo de Dados

O banco de dados da aplicação foi modelado de forma relacional, com o objetivo de armazenar e organizar as informações necessárias ao funcionamento do sistema. O modelo

contempla entidades para os pontos turísticos, incluindo seus atributos descritivos e informações complementares, como horários de funcionamento.

A estrutura relacional adotada permite a recuperação dos dados utilizados nas diferentes etapas do sistema, desde a listagem dos pontos turísticos no aplicativo móvel até o cálculo das rotas no *backend*. A Figura 3 apresenta o diagrama entidade-relacionamento do banco de dados utilizado no sistema.

Figura 3 – Diagrama Entidade-Relacionamento do Banco de Dados



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

5.2. Integração com o *OSRM*

Nesta etapa, foi implementada a integração do sistema com o serviço público *OSRM*, responsável por gerar as matrizes de distâncias entre os POIs. O objetivo dessa integração é permitir que a aplicação *backend* envie as coordenadas geográficas dos pontos turísticos (inseridas previamente no banco de dados) para o *OSRM*, para que o serviço retorne a matriz de distâncias entre todos os pares de coordenadas informadas.

Com isso, não foi necessária a modelagem manual do grafo dos pontos turísticos, uma vez que o *OSRM* já fornece as distâncias calculadas a partir da malha viária real da cidade (OSRM, 2025).

Neste trabalho, adotou-se o perfil *car* do OSRM, por ser o único disponibilizado na instância pública do OSRM. Este perfil utiliza a malha viária destinada a veículos motorizados, considerando sentidos de via, restrições de conversão e velocidades médias. Perfis alternativos, como *foot* (caminhada), *bike* (ciclismo), ou *motorcycle* (motocicleta), apesar de disponíveis no OSRM, não foram empregados nesta versão do protótipo, pois demandam uma infraestrutura dedicada para o OSRM.

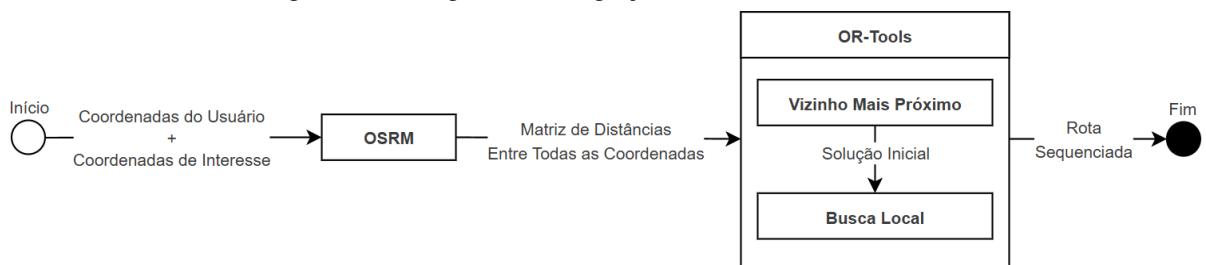
5.3. Implementação da Heurística

Na etapa de implementação da heurística, a solução inicial do PCV foi construída por meio da heurística *PathCheapestArc*, equivalente ao método VMP, conforme disponibilizado pela biblioteca *Google OR-Tools*. Após a obtenção desta solução inicial, aplicou-se uma etapa de refinamento por busca local, configurada no *Routing Solver* da biblioteca, utilizando a estratégia de descida gulosa *Greedy Descent*.

Nessa fase, o solver executa automaticamente movimentos de vizinhança clássicos, tais como trocas do tipo 2-opt, com o objetivo de reduzir o custo total da rota. O refinamento é controlado por um limite de tempo, garantindo melhoria incremental da solução sem comprometer o tempo de resposta do sistema.

A Figura 4 apresenta um fluxograma que representa a integração entre o serviço *OSRM* e a biblioteca *OR-Tools* compondo o algoritmo de roteirização do sistema.

Figura 4 – Fluxograma de Integração Entre OSRM e OR-Tools



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

5.4. Implementação do Sistema

O desenvolvimento do sistema ocorreu em duas camadas integradas. O *backend*, implementado em *ASP.NET* (C#), foi responsável por processar os dados, executar o algoritmo de roteirização e retornar o resultado em formato *GeoJSON*.

O *frontend*, desenvolvido como um aplicativo nativo em *Android*, atuou como a principal interface de interação com o usuário e como consumidor da *Application*

Programming Interface (API). No aplicativo móvel, todos os pontos turísticos cadastrados foram exibidos em uma lista com opções de filtragem e seleção, permitindo ao usuário escolher os locais de interesse. Além disso, o aplicativo também transmite a localização atual do usuário, de modo que o cálculo da rota considere a posição real como ponto de partida, contribuindo para o dinamismo das rotas.

A partir dessas informações, o aplicativo envia uma requisição *HTTP* ao *backend*. O servidor processa a solicitação aplicando a heurística de roteirização sobre a matriz de distâncias dos pontos de interesse, retornando a solução em formato *GeoJSON*. Esse resultado é então consumido pelo aplicativo, que realiza a plotagem da rota diretamente sobre o mapa utilizando a biblioteca *MapLibre* (MapLibre, 2025), possibilitando ao usuário visualizar de forma clara e intuitiva o trajeto sugerido.

5.5. Validação Funcional

A validação funcional do sistema foi realizada por meio de testes manuais, considerando-se como critérios de aceitação a geração de uma rota válida contendo todos os pontos selecionados exatamente uma vez, a ausência de inconsistências na sequência retornada e a correta visualização do trajeto no mapa da aplicação. Além disso, foram observados diferentes cenários de uso, incluindo rotas com poucos pontos turísticos, rotas com conjuntos maiores de pontos e casos envolvendo pontos geograficamente distantes entre si, de modo a verificar a estabilidade do sistema e o comportamento do algoritmo em situações-limite comuns ao domínio da aplicação.

Não foram realizadas comparações quantitativas com outras abordagens, como as rotas nativas do *OSRM* ou do *Google Maps*, uma vez que o foco esteve na verificação funcional do protótipo desenvolvido e na experiência do usuário.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

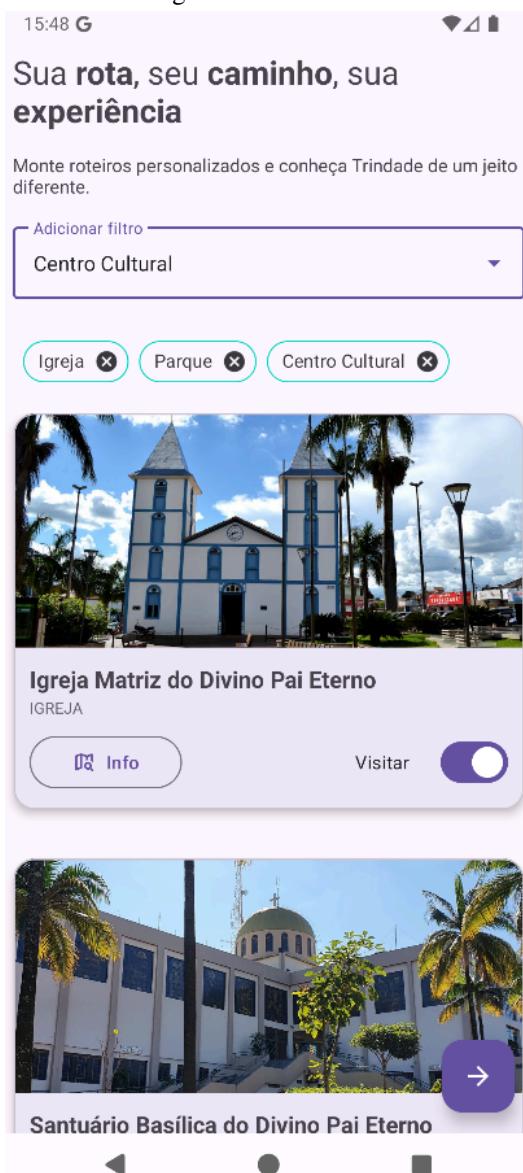
Os resultados obtidos demonstraram que o protótipo desenvolvido atendeu de forma satisfatória aos objetivos propostos, evidenciando a viabilidade da aplicação de heurísticas de roteirização em um contexto real de turismo urbano.

O aplicativo móvel foi composto por quatro telas principais: (I) a tela inicial, que lista os pontos turísticos cadastrados com opções de filtragem; (II) tela de detalhes dos pontos turísticos, que exibe dados completos sobre o ponto selecionado; (III) tela de revisão do

itinerário, onde o usuário pode remover pontos selecionados e escolher a forma de finalização da rota; e (IV) a tela do mapa, responsável por exibir a rota calculada.

A Figura 5 apresenta a tela inicial da aplicação, responsável pela listagem dos pontos turísticos cadastrados no sistema. Os 72 pontos mapeados são exibidos em formato de cards individuais, contendo imagem ilustrativa, nome e categoria do ponto turístico. A interface disponibiliza mecanismos de filtragem por tipo de atrativo, bem como controles que permitem ao usuário sinalizar a inclusão dos POIs na geração da rota. Essa tela constitui o principal ponto de interação inicial do usuário com o sistema, permitindo a personalização do roteiro de acordo com suas preferências, antes da etapa de cálculo do trajeto.

Figura 5 – Tela Inicial



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A Figura 6 apresenta a tela de detalhes dos pontos turísticos, contendo imagem ilustrativa, nome, tipo, endereço, horários de funcionamento, descrição, contexto histórico e localização em um mini mapa.

Figura 6 – Tela de Detalhes dos Pontos Turísticos



Igreja Matriz do Divino Pai Eterno

Igreja

Endereço
Praça do Santuário, 238
Centro - Trindade/GO
CEP: 75380000

Dias e horários de funcionamento

Domingo	07:00 - 20:30
Segunda-feira	06:00 - 20:00
Terça-feira	06:00 - 20:00
Quarta-feira	06:00 - 20:00
Quinta-feira	06:00 - 20:00
Sexta-feira	06:00 - 20:00
Sábado	05:40 - 19:00

Descrição
Igreja Velha. Igreja Matriz.

História
Erguida inicialmente em 1843, na antiga região do Barro Preto, a primeira capela dedicada ao Divino Pai Eterno deu origem ao que hoje é Trindade (GO). Com o crescimento da devoção, novas capelas foram construídas até que, em 1912, o Missionário Redentorista padre Antônio Jorge, com apoio da comunidade, inaugurou o primeiro Santuário do Divino Pai Eterno (atual Igreja Matriz de Trindade).

Em estilo colonial e com mais de um século de história, o templo foi tombado pelo Iphan como Patrimônio Histórico e Artístico Nacional e Patrimônio Cultural Material do Brasil, por representar a fé e a cultura do povo goiano.

Após uma restauração em 2014, o Santuário continua sendo um dos principais símbolos da Romaria do Divino Pai Eterno, que atrai milhões de fiéis todos os anos, mantendo viva a tradição e a espiritualidade que deram origem à cidade.

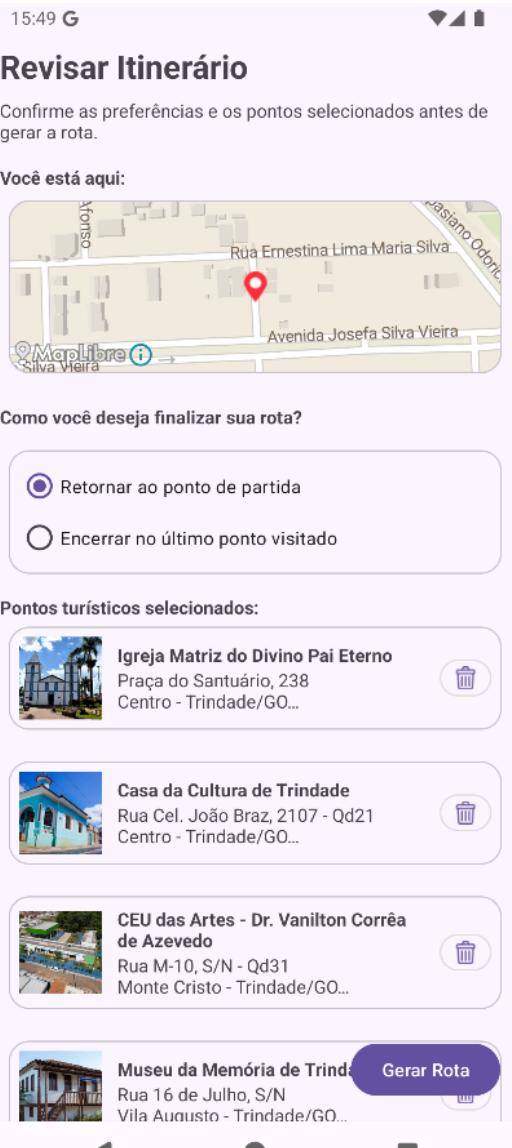


Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A Figura 7 apresenta a tela de revisão do itinerário, responsável por conter as principais informações para confirmação do usuário antes da etapa de geração de rotas. A interface apresenta a localização atual do usuário em um mini mapa, controles para seleção do tipo de finalização da rota e listagem dos pontos selecionados na tela inicial, em formato de cards individuais, com controles de exclusão.

O controle de finalização de rotas permite ao usuário escolher entre finalizar a rota no ponto de início do trajeto ou finalizar a rota no último ponto turístico visitado. O aplicativo é dinâmico em relação à essa seleção, otimizando o trajeto gerado para cada tipo de finalização.

Figura 7 – Telas da Aplicação

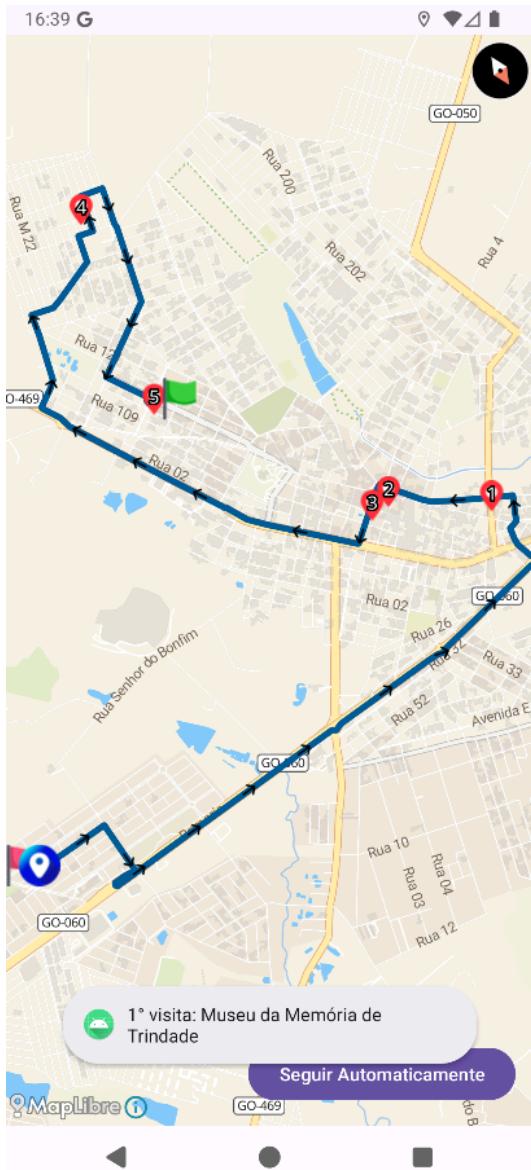


Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A Figura 8 apresenta a tela do mapa, responsável pela exibição da rota gerada. A interface exibe a rota de forma visual, com setas indicadoras de direção e marcadores para: (I) pontos turísticos, representados pelo ícone vermelho com um número ao centro indicando a ordem de visitação; (II) início de rota, representado pelo ícone de bandeira vermelha; (III) fim de rota, representado pelo ícone de bandeira verde; e (III) posição do usuário, representado pelo ícone redondo azul, que se desloca de acordo com o deslocamento real do usuário.

Além disso, esta tela também possui controle para seguimento automático da câmera em relação ao deslocamento do usuário e mensagem flutuante indicando o nome do atrativo, que aparece ao clicar em um marcador de ponto turístico.

Figura 8 – Tela do Mapa



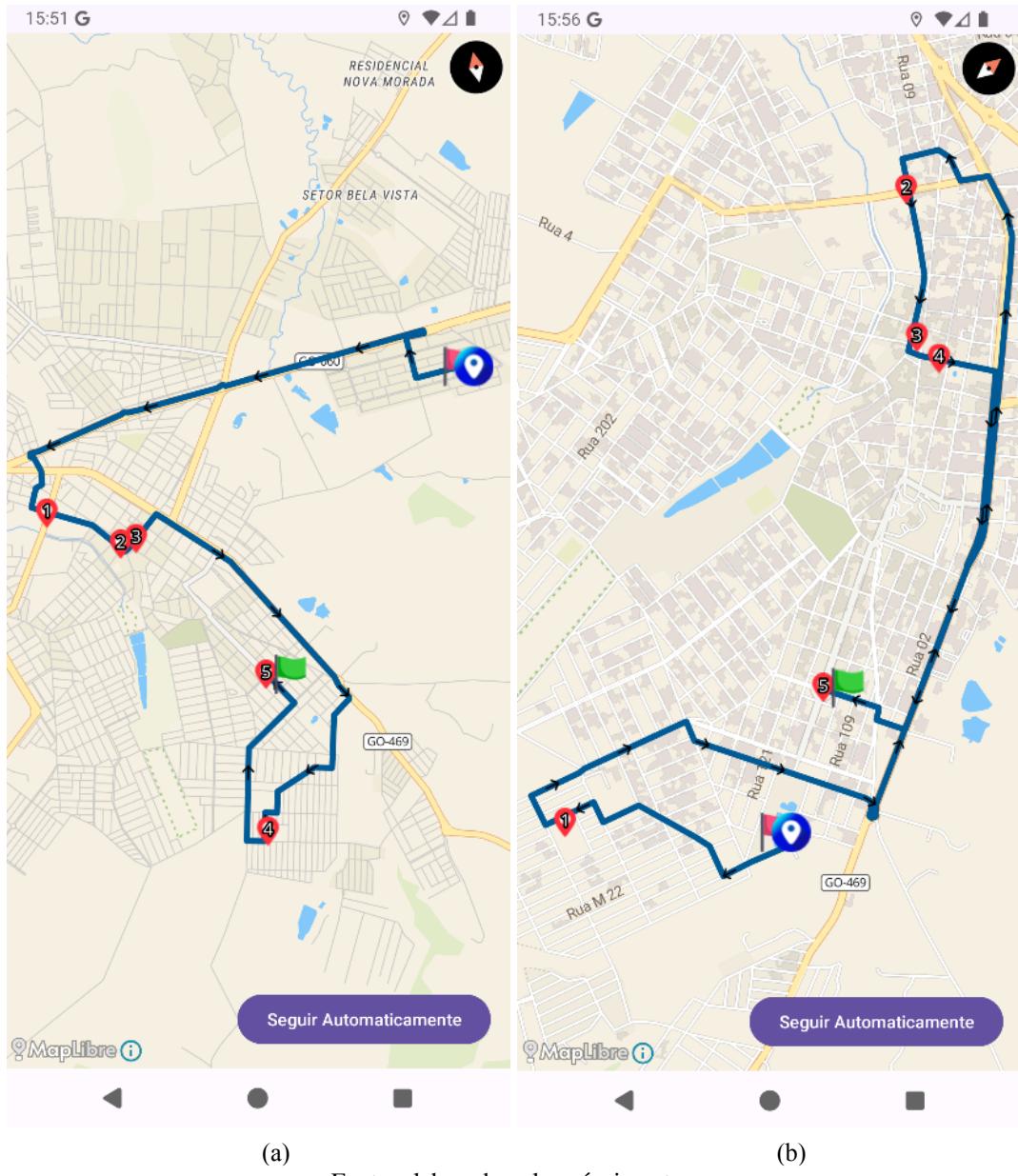
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Em relação à geração das rotas, não foram observados cenários de falhas ou rotas inviáveis. Considerando os 72 pontos turísticos mapeados para a aplicação, as rotas obtidas apresentaram qualidade consistente, respeitando a malha viária local e garantindo trajetos adequados ao contexto urbano.

Outro aspecto relevante foi a inclusão da localização atual do usuário como ponto de partida, garantindo que as rotas fossem personalizadas de acordo com o contexto real de uso.

A Figura 9 apresenta um comparativo entre duas rotas formadas pelos mesmos pontos turísticos, mas calculadas a partir de diferentes localizações do usuário.

Figura 9 – Telas da Aplicação



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Como exemplo ilustrativo, considerou-se o conjunto de pontos turísticos apresentado na Figura 9a. A rota gerada pelo sistema, com base nesses pontos, após a aplicação da heurística de roteirização, apresentou distância total aproximada de 10,92 km, calculada a partir da matriz de distâncias fornecida pelo OSRM. Para fins de comparação, foi obtida uma rota base utilizando diretamente o serviço de roteamento do OSRM, mantendo os mesmos pontos, a qual resultou em uma distância total de 13,91 km. Embora não se trate de uma avaliação quantitativa exaustiva, esse exemplo evidencia que a solução proposta é capaz de

produzir rotas mais eficientes em termos de distância total quando comparada a uma abordagem direta.

A qualidade das rotas foi verificada por inspeção visual no mapa. O desempenho do sistema também se mostrou adequado para dispositivos móveis. O tempo médio de resposta permaneceu inferior a quatro segundos, suficiente para uma experiência fluida. A integração entre o *frontend* e o *backend* ocorreu sem gargalos, com o envio dos pontos selecionados e da localização atual do usuário ao servidor, seguido pela execução da heurística e a exibição do trajeto no aplicativo.

A validação funcional confirmou que todas as etapas do fluxo de operação foram atendidas corretamente: listagem dos pontos turísticos, seleção dos pontos pelo usuário, transmissão ao *backend*, cálculo da rota e plotagem no mapa. Os resultados evidenciaram que o sistema cumpre seu propósito de forma eficaz e alinhada ao contexto do turismo religioso em Trindade-GO.

Os resultados são limitados pela ausência de comparação sistemática com rotas de referência (p. ex., *OSRM* puro ou *Google Maps*) e por avaliação predominantemente qualitativa de “qualidade de rota”. Esses limites decorrem do escopo de prototipagem; versões futuras incluirão análise quantitativa controlada (comprimento de rota, tempo estimado e variação percentual) em múltiplos cenários.

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento de um aplicativo móvel para roteirização turística na cidade de Trindade-GO, com base na aplicação da heurística VMP, implementada via biblioteca *Google OR-Tools*, sobre uma matriz de distâncias fornecida pelo *OSRM*. O sistema demonstrou ser capaz de organizar roteiros turísticos de forma otimizada e visual, proporcionando ao visitante uma experiência simples e eficiente, com tempo de resposta adequado para dispositivos móveis.

Embora tenha atingido os objetivos propostos, algumas limitações foram observadas, sobretudo relacionadas à indisponibilidade de dados completos sobre horários de funcionamento dos pontos turísticos. Essa restrição impossibilitou a aplicação de variações do PCV que considerem janelas temporais.

Como perspectiva para trabalhos futuros, pretende-se realizar uma análise quantitativa entre diferentes heurísticas e ampliar as funcionalidades do aplicativo a partir de: inclusão de

telas de finalização da rota; aprimorar a exibição de detalhes dos POIs na tela do mapa para facilitar a identificação dos mesmos; permitir que o usuário escolha o meio de transporte a ser considerado na roteirização como bicicleta, carro ou a pé, a partir de uma infraestrutura dedicada do *OSRM*; implementar mecanismos de contribuição colaborativa, de forma que os usuários possam informar em tempo real o horário de funcionamento dos pontos turísticos para possibilitar a implementação do PCV considerando janelas temporais; registrar estatísticas sobre os pontos mais visitados, possibilitando recomendações personalizadas; e considerar zonas de risco na definição dos trajetos, promovendo maior segurança para os visitantes. Estas melhorias têm o potencial de ampliar a aplicabilidade prática da solução e reforçar seu caráter de apoio ao desenvolvimento turístico da cidade.

REFERÊNCIAS

- BENEVÍDES, P. da S. **Aplicação de heurísticas e meta-heurísticas para o problema do caixeiro viajante em um problema real de roteirização de veículos**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023.
- BRASIL. Ministério do Turismo. **Roteirização turística**: módulo operacional 7. Brasília, DF: Ministério do Turismo, 2007. Disponível em: https://regionalizacao.turismo.gov.br/images/roteiros_brasil/roteirizacao_turistica.pdf. Acesso em: 6 abr. 2025.
- COSTA, R. P. da *et al.* Set of usability heuristics for quality assessment of mobile applications on smartphones. **IEEE Access**, v. 7, p. 116145-116161, 2019. DOI 10.1109/ACCESS.2019.2910778. Disponível em: http://repositorio2.unb.br/bitstream/10482/37597/1/ARTIGO_SetUsabilityHeuristics.pdf. Acesso em: 20 ago. 2025.
- CUNHA, C. B. da C.; BONASSER, U. de O.; ABRAHÃO, F. T. M. Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 16., 2002, Natal. **Anais** [...]. Natal: ANPET, 2002. p. 1-12.
- DANTZIG, G.; FULKERSON, R.; JOHNSON, S. Solution of a large-scale traveling-salesman problem. **Journal of the Operations Research Society of America**, v. 2, n. 4, p. 393-410, 1954.
- DUARTE, A.; CRUZ, J. P. G. da; YOSHIZAKI, H. Heurística de busca local para uso em sistemas de suporte à decisão: aplicação no problema de roteirização de veículos capacitados em duas camadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 43., 2023, Fortaleza. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2023. DOI 10.14488/enegep2023_tn_wpg_399_1955_46427.

GAVALAS, D.; KONSTANTOPOULOS, C.; MASTAKAS, K.; PANTZIOU, G. A survey on algorithmic approaches for solving tourist trip design problems. **Journal of Heuristics**, v. 20, n. 3, p. 291-328, 2014.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GOLDBARG, M.; GOLDBARG, E. **Grafos: conceitos, algoritmos e aplicações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

GOMES, P. C. R. **Grafos: conceitos fundamentais, algoritmos e aplicações**. Blumenau: Editora do Instituto Federal Catarinense, 2022. Disponível em: <https://editora.ifc.edu.br/2022/11/18/grafos-conceitos-fundamentais-algoritmos-e-aplicacoes/>. Acesso em: 30 mar. 2025.

GOOGLE. **OR-Tools**: operations research tools developed by Google. Software. 2025. Disponível em: <https://developers.google.com/optimization>. Acesso em: 1 jul. 2025.

MAPLIBRE. **MapLibre Project**. Projeto open-source. 2025. Disponível em: <https://maplibre.org/>. Acesso em: 6 set. 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DO TURISMO. **Why tourism?**, 2025. Disponível em: <https://www.unwto.org/why-tourism>. Acesso em: 6 abr. 2025.

OSRM. **Open Source Routing Machine**. Software. 2025. Disponível em: <https://project-osrm.org/>. Acesso em: 6 jul. 2025.

PRESTES, Á. N. **Uma análise experimental de abordagens heurísticas aplicadas ao problema do caixeiro viajante**. 2006. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

SAUER, J. G. **Abordagem de evolução diferencial híbrida com busca local aplicada ao problema do caixeiro viajante**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SILVA, D. P. da. **Trindade e Fátima**: aspectos econômicos do turismo religioso. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências da Religião) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2016.

TOTH, P.; VIGO, D. **Vehicle routing**: problems, methods, and applications. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 2014.

TRINDADE (Município). Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Turismo de Trindade 2023-2032**. Trindade: Prefeitura Municipal de Trindade; SEBRAE-GO, 2023. Disponível em: <https://www.trindade.go.gov.br>. Acesso em: 6 abr. 2025.

TRINDADE (Município). Prefeitura Municipal. **Portal do Turismo e Cultura de Trindade**. 2025. Disponível em: <https://turismo.trindade.go.gov.br/locais/turismo>. Acesso em: 1 jul. 2025.

WEICHBROTH, P. Factors influencing the perceived usability of mobile applications. **arXiv preprint**, arXiv:2502.11069, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2502.11069>. Acesso em: 20 maio 2025.