Método para Geração e Validação de Itinerários de Transporte Rodoviário Intermunicipal no Contexto do Cadastro Territorial Multifinalitário

Method for the Generation and Validation of Intercity Transport Itineraries within the Multipurpose Territorial Cadastre Framework

Wellington Repette[1]

Antônio Venicius Santos[2]

Amanda Maciel da Silva[3]

Vinícius Miranda[4]

Patrícia Royes Schardosim[5]

Renata Brückmann Gomes Machado [6]

RESUMO: A atualização de bases cartográficas de transporte é essencial para o planejamento territorial e para a gestão dos serviços de mobilidade. Entretanto, o levantamento convencional de itinerários costuma exigir trabalho manual, apresenta custos elevados e pode não acompanhar as mudanças operacionais das linhas. Este artigo propõe um método para gerar itinerários de transporte rodoviário intermunicipal de passageiros a partir de dados georreferenciados de rastreamento veicular, processados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). O método compreende a organização dos registros, a criação de identificadores únicos para as viagens, a remoção de inconsistências, a ordenação temporal dos pontos, a seleção de trajetórias válidas, a geração das linhas de itinerário e a comparação das extensões obtidas com os valores cadastrados. A aplicação desse conjunto de procedimentos possibilitou avaliar o alcance da geração automatizada e identificar os casos que demandam verificação complementar. Como resultado, foi possível gerar 82,6% das linhas analisadas de forma automatizada, a partir de um método de extração que utiliza rotinas em Python e funcionalidades do ArcGIS Pro. A aplicação também permitiu identificar falhas de rastreamento, diferenças entre extensões medidas e cadastradas e linhas que exigem verificação adicional. Os resultados demonstram que dados produzidos continuamente pela operação do transporte podem apoiar a atualização de bases cartográficas, reduzir esforços de levantamento em campo e ampliar a integração entre informações de mobilidade e o Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM).

Palavras-chave: Cadastro Territorial Multifinalitário; dados georreferenciados; transporte intermunicipal; rastreamento veicular; Sistema de Informação Geográfica.

ABSTRACT: Updating transport cartographic databases is essential for territorial planning and the management of mobility services. However, conventional itinerary surveying often requires manual work, involves high costs, and may not keep pace with operational changes in transport routes. This article proposes a method for generating intercity road passenger transport itineraries from georeferenced vehicle tracking data processed in a Geographic Information System (GIS) environment. The method includes organizing the records, creating unique trip identifiers, removing inconsistencies, chronologically ordering tracking points, selecting valid trajectories,

[1] UFSC - LabTrans / E-mail wellington.repette@gmail.com
[2] UFSC - LabTrans / E-mail venicius@labtrans.ufsc.br
[3] UFSC - LabTrans / E-mail amanda.silva@labtrans.ufsc.br
[4] UFSC - LabTrans / E-mail vinicius.miranda@labtrans.ufsc.br
[5] UFSC - LabTrans / E-mail patricia.schardosim@labtrans.ufsc.br
[6] UFSC - LabTrans / E-mail renata.machado@labtrans.ufsc.br

generating itinerary lines, and comparing the resulting route lengths with the registered values. The application of this set of procedures made it possible to assess the scope of automated itinerary generation and identify cases requiring additional verification. As a result, it was possible to automatically generate 82.6% of the analyzed lines using an extraction method that employs Python routines and ArcGIS Pro functionalities. The application also made it possible to identify tracking failures, differences between measured and registered route lengths, and transport lines requiring further verification. The results demonstrate that data continuously produced by transport operations can support the updating of cartographic databases, reduce the need for field surveys, and improve the integration between mobility information and the Multipurpose Territorial Cadastre (MTC).

Keywords: Multipurpose Territorial Cadastre; georeferenced data; intercity transport; vehicle tracking; Geographic Information System.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) é entendido como uma estrutura que reúne o cadastro territorial e diferentes cadastros temáticos. Esses cadastros podem conter informações sociais, ambientais, habitacionais, tributárias e relativas às redes de infraestrutura, entre outros temas. As diretrizes nacionais também destacam a necessidade de integração entre bases geográficas e cadastrais mantidas por diferentes instituições, de forma que os dados possam ser relacionados e utilizados na gestão territorial e na implementação de políticas públicas (Brasil, 2022).

As informações sobre transporte e mobilidade podem contribuir para essa estrutura, pois os itinerários, os pontos de parada e os trechos percorridos pelos veículos representam elementos diretamente relacionados à organização do território. Conhecer a distribuição espacial das linhas permite observar quais localidades são atendidas, como os municípios estão conectados e por quais vias os serviços de transporte são realizados. Além da gestão operacional, essas informações podem apoiar análises sobre cobertura territorial, acesso a serviços e integração entre áreas urbanas e rurais.

Entretanto, a manutenção de bases cartográficas de transporte apresenta dificuldades. Os itinerários podem sofrer alterações em razão de mudanças na rede viária, de criação ou encerramento de linhas, de ajustes operacionais e de desvios temporários. Quando a atualização depende principalmente de levantamentos em campo, desenhos manuais ou arquivos enviados separadamente pelas operadoras, o processo pode exigir tempo, recursos financeiros e sucessivas verificações. Também podem ocorrer diferenças entre o percurso cadastrado e aquele efetivamente realizado pelos veículos.

Ao mesmo tempo, os sistemas utilizados na operação do transporte passaram a produzir grandes volumes de dados de forma contínua. Entre esses sistemas, estão a bilhetagem eletrônica e a Localização Automática de Veículos (AVL, do inglês *Automatic Vehicle Location*), que registra a posição dos veículos por meio de tecnologias como o Sistema de Posicionamento Global (GPS, do inglês *Global Positioning System*). Esses registros podem informar, por exemplo, a data e o horário da coleta, a localização do veículo e a sua velocidade. Estudos apontam que tais fontes ampliam as possibilidades de análise do transporte, principalmente quando são integradas a outros dados operacionais e cadastrais (Urbano; Arena; Azzone, 2025).

Apesar desse potencial, os pontos registrados durante uma viagem não necessariamente formam, automaticamente, um itinerário confiável. As bases podem

apresentar coordenadas incorretas, registros repetidos, intervalos sem informação, pontos fora de ordem e diferentes frequências de coleta. Por isso, os dados precisam ser organizados, limpos e avaliados antes de serem transformados em linhas sobre o mapa. A literatura recente sobre dados de trajetórias destaca a preparação dos registros como uma etapa essencial para evitar que falhas de rastreamento sejam interpretadas como percursos reais (Li *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, este artigo tem como propósito responder à seguinte questão: como transformar grandes volumes de dados de rastreamento veicular em itinerários cartográficos estruturados e adequados à atualização de bases territoriais de transporte? Assim, o objetivo é propor e aplicar um método para a geração automatizada de itinerários de transporte rodoviário intermunicipal de passageiros, utilizando dados georreferenciados de rastreamento veicular e técnicas de geoprocessamento em ambiente de SIG, de modo a apoiar a produção e a atualização de bases temáticas relacionadas ao CTM.

As principais contribuições do trabalho estão na proposição de um fluxo metodológico integrado que reúne, em uma mesma sequência operacional, a preparação dos registros, o tratamento de inconsistências, a associação de trajetórias à rede viária, a geração automatizada dos itinerários e a validação dos resultados. Ao integrar essas etapas, o método torna a atualização das bases cartográficas mais padronizadas, além de indicar de forma objetiva os casos que exigem verificação complementar.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cadastro Territorial Multifinalitário

O CTM pode ser compreendido como uma estrutura organizada de informações sobre o território. A sua finalidade não se limita à identificação de imóveis ou ao apoio à arrecadação tributária; o CTM busca integrar a representação espacial do território a informações produzidas por diferentes áreas da administração pública, como planejamento urbano, habitação, meio ambiente, infraestrutura, mobilidade e prestação de serviços.

No Brasil, a Portaria nº 3.242, de 9 de novembro de 2022, estabelece as diretrizes para a criação, a instituição e a atualização do CTM pelos municípios. A norma apresenta o cadastro como um sistema integrado, formado pelo cadastro territorial e por cadastros temáticos (Brasil, 2022).

Linheira *et al.* (2025) destacam que as atuais diretrizes brasileiras representam um avanço em relação a uma visão restrita do cadastro. Nessa abordagem, o CTM passa a ser considerado uma infraestrutura de informações destinada a apoiar o planejamento, a administração e a formulação de políticas territoriais. Os autores também ressaltam que a integração de diferentes bases depende de conceitos comuns, de organização institucional e de métodos que sejam compatíveis com a capacidade técnica e financeira dos governos locais.

Nesse contexto, as informações sobre a rede de transporte podem ser tratadas como uma base temática relacionada ao território. Itinerários, pontos de parada, terminais e seções de linhas não substituem os elementos centrais do cadastro territorial, mas podem ser integrados a ele para ampliar a sua utilização. Essa integração permite analisar, por exemplo, quais localidades são atendidas, como os municípios estão conectados, onde concentram-se

os serviços e quais áreas apresentam menor cobertura de transporte.

2.2 Dados georreferenciados de rastreamento

Dados georreferenciados são registros que possuem informações sobre a sua localização na superfície terrestre. No caso do transporte, esses registros podem indicar a posição de um veículo em determinado momento, geralmente acompanhada da data, do horário, da velocidade e de identificadores relacionados à viagem, à linha ou à operadora.

Em uma viagem, cada registro representa a posição estimada do veículo em um instante específico. Quando esses pontos são ordenados pela data e pelo horário, formam uma sequência que pode indicar o deslocamento realizado. Entretanto, essa sequência não deve ser interpretada imediatamente como uma reprodução exata do itinerário, pois dados de localização podem apresentar ruídos, interrupções, registros repetidos, coordenadas incorretas ou intervalos diferentes entre as coletas.

Na literatura internacional, Zheng (2015) caracteriza as trajetórias espaciais como sequências cronologicamente ordenadas de posições, normalmente associadas a coordenadas geográficas e registros de tempo. Nessa perspectiva, os dados brutos de localização são o ponto de partida da análise, sendo necessário submetê-los a etapas de preparação antes da identificação de padrões ou da reconstrução dos deslocamentos. Essa compreensão aplica-se aos dados de rastreamento veicular, nos quais ruídos, lacunas e diferenças na coleta podem alterar a representação do percurso.

Huang *et al.* (2023) observam que mesmo dados de localização coletados em alta frequência podem apresentar coordenadas com ruído e variações no intervalo de registro. Por esse motivo, a reconstrução de uma trajetória contínua exige tratamento dos dados antes de sua utilização. Os autores demonstram que informações básicas, como latitude, longitude e horário, podem sustentar a reconstrução de trajetórias, desde que sejam aplicados procedimentos de organização, correção e suavização dos registros.

Li *et al.* (2025) organizam o tratamento de trajetórias em quatro grupos principais: limpeza, compressão, segmentação e associação à rede viária. A limpeza busca remover ou corrigir registros inconsistentes; a compressão reduz pontos desnecessários sem eliminar as características principais do deslocamento; a segmentação divide os dados em unidades coerentes, como viagens ou períodos; e a associação à rede viária relaciona os registros às vias mais prováveis.

2.3 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Um SIG é um ambiente computacional utilizado para armazenar, organizar, analisar e representar informações relacionadas à localização. Diferentemente de uma base exclusivamente tabular, o SIG permite associar atributos descritivos a elementos representados no espaço.

A organização dos dados em um SIG favorece a automatização, pois uma sequência de procedimentos pode ser repetida para diferentes viagens ou linhas. Regras de filtragem, ordenação, conversão de pontos em linhas, cálculo de extensão e comparação com cadastros existentes podem ser aplicadas de maneira padronizada. Isso reduz o trabalho repetitivo e

aumenta a possibilidade de reprodução do processo.

Entretanto, a automatização não elimina a necessidade de avaliar a qualidade dos resultados. A norma ISO 19157-1:2023 estabelece princípios para descrever, avaliar e comunicar a qualidade de dados geográficos. Tal norma não define um nível único de qualidade aceitável, pois essa decisão depende da finalidade de uso, mas orienta que os produtores informem como a qualidade foi avaliada e que os usuários verifiquem se o dado é adequado à aplicação pretendida (ISO, 2023).

No caso dos itinerários de transporte, a avaliação pode considerar aspectos como a presença de todas as linhas esperadas, a continuidade dos percursos, a compatibilidade com a rede viária, a localização das origens e destinos e a diferença entre a extensão produzida e a extensão cadastrada. Também é importante registrar a fonte, a data de produção, as regras aplicadas e as limitações conhecidas.

2.4 Técnicas de *map matching*

Os pontos produzidos pelo rastreamento nem sempre aparecem exatamente sobre a via utilizada pelo veículo. Em razão de erros de posicionamento e de diferenças na frequência de coleta, eles podem estar deslocados em relação ao percurso realizado. Para lidar com essa situação, são utilizadas técnicas conhecidas como *map matching*, expressão que pode ser traduzida como associação da trajetória à rede viária.

Quddus, Ochieng e Noland (2007) definem *map matching* como o processo de integração entre dados de posicionamento e uma representação da rede viária para identificar o segmento pelo qual o veículo provavelmente circulou. Os autores mostram que diferentes métodos podem utilizar critérios geométricos, topológicos e probabilísticos e destacam que o desempenho depende tanto da qualidade do posicionamento quanto da representação da própria rede.

No contexto específico de rastreamento veicular, Brakatsoulas *et al.* (2005) destacam que a análise deve considerar a trajetória formada pela sequência de posições e não somente a proximidade de cada ponto isolado em relação a uma via. Essa característica é importante porque os dados coletados por GPS estão sujeitos a erros e precisam ser relacionados à rede antes de serem utilizados para representar o deslocamento efetivamente realizado.

Entre as abordagens probabilísticas, Newson e Krumm (2009) consolidaram o uso de Modelo Oculto de Markov (HMM, do inglês *Hidden Markov Model*) para estimar a sequência de vias mais provável a partir de uma série de coordenadas com registro temporal. O método considera simultaneamente o ruído das medições e a estrutura da rede viária, sendo particularmente relevante quando existem incertezas no posicionamento.

Lou *et al.* (2009), por sua vez, demonstraram que a redução da frequência de coleta aumenta a incerteza entre pontos consecutivos e propuseram uma abordagem que combina características espaciais e topológicas da rede com informações temporais e de velocidade.

A literatura mais recente amplia essas abordagens, incorporando métodos baseados em aprendizado de máquina e soluções híbridas que combinam diferentes critérios (Waksmundzki; Niewiadomska-Szynkiewicz; Granat, 2025). Apesar dos avanços, a qualidade do resultado continua dependente da frequência e da precisão dos registros, da

atualização da malha viária e da existência de informações suficientes para diferenciar caminhos semelhantes.

É necessário diferenciar, ainda, o *map matching* de outras operações realizadas sobre trajetórias. O simples encadeamento dos pontos em ordem temporal cria uma linha, mas não garante a sua associação à rede viária. Da mesma forma, procedimentos de simplificação ou de suavização podem reduzir irregularidades, mas não determinam, por si só, quais vias foram efetivamente utilizadas.

3 MÉTODO PROPOSTO E DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO

O método proposto foi estruturado em cinco etapas: aquisição e integração dos dados, preparação dos registros, processamento espacial, geração e validação dos itinerários e estruturação da base cartográfica. Essas etapas formam um fluxo integrado que pode ser adaptado a diferentes contextos, desde que estejam disponíveis registros georreferenciados e informações que permitam identificar as viagens e linhas.

Na aplicação apresentada neste artigo, o fluxo foi operacionalizado com dados de bilhetagem eletrônica e rastreamento veicular, recursos de análise de redes e uma base cartográfica de malha viária. Parte das tarefas foi automatizada, especialmente as operações repetitivas aplicadas a grandes volumes de registros. Os casos que apresentaram inconsistências permaneceram separados para posterior verificação, evitando que resultados pouco confiáveis fossem incorporados automaticamente à base final.

3.1 Aquisição dos dados

Na aplicação do método, a principal fonte utilizada foi de uma base proveniente de sistema de bilhetagem eletrônica aplicado a veículos de transporte rodoviário intermunicipal de passageiros. Cada registro continha o identificador da operadora, o identificador da viagem, a data e o horário da coleta, a latitude, a longitude e a velocidade informada pelo sistema. A combinação dessas informações permitiu acompanhar a sequência de posições registradas durante cada viagem.

Os atributos da base de dados formada a partir do sistema de bilhetagem foram utilizados para relacionar os pontos de rastreamento às informações operacionais, como linha, sentido, origem, destino, data da viagem e extensão cadastrada. Também foram consultados dados cadastrais, que forneceram uma referência adicional sobre as localidades de origem e de destino de cada linha.

Como os códigos das viagens eram definidos separadamente por cada operadora, um mesmo número poderia aparecer associado a empresas diferentes. Para evitar essa duplicidade, foi criada uma identificação única por meio da combinação entre o código da operadora e o código da viagem. Procedimento semelhante foi aplicado à identificação das linhas, combinando o código da operadora com o código da linha. Essa etapa permitiu relacionar com maior segurança as bases de rastreamento, de viagens e de linhas.

3.2 Preparação dos dados

Inicialmente, foram excluídas coordenadas que estavam fora dos limites possíveis de

latitude e longitude. Em seguida, os registros foram restringidos à área de análise, filtro que permitiu remover pontos evidentemente incompatíveis com a área de operação analisada.

Na sequência, os pontos foram organizados de acordo com a identificação da viagem e com a data e o horário da coleta. Essa ordenação foi necessária porque a trajetória depende da sequência em que as posições foram registradas. Caso os pontos sejam conectados em uma ordem incorreta, a linha resultante pode apresentar retornos, cruzamentos e deslocamentos que não ocorreram na viagem.

Também foram identificados pontos com mudanças de posição incompatíveis com os registros anteriores e posteriores. Esses casos foram denominados “saltos”, pois representavam deslocamentos muito extensos em intervalos curtos ou alternâncias entre localidades distantes. Foram observadas ainda concentrações de pontos fora da sequência esperada e pequenas linhas laterais formadas por registros isolados, tratadas como irregularidades da trajetória.

A remoção desses pontos foi realizada com cautela, uma vez que a exclusão excessiva poderia tornar a viagem incompleta. Quando as inconsistências impediam a reconstrução segura do percurso, a viagem era descartada do processamento automático e mantida para verificação posterior. Em alguns casos, foram observados saltos capazes de produzir rotas muitas vezes superiores à extensão cadastrada, demonstrando a importância desse controle.

A seleção das trajetórias considerou a compatibilidade entre o início e o final da viagem e as localidades de origem e destino cadastradas para a linha. Quando a base de viagens apresentava informações inconsistentes, foram utilizados os dados cadastrais. Assim, foram priorizadas viagens cujo primeiro conjunto de pontos estivesse próximo da origem cadastrada e cujo trecho final fosse compatível com o destino previsto.

3.3 Processamento espacial

Na aplicação apresentada, o processamento espacial foi realizado na plataforma ArcGIS Pro 3.2.0 (Esri, 2023), utilizando recursos de análise de redes. Para representar as vias disponíveis, adotou-se como referência a malha do OpenStreetMap (OSM), base colaborativa que apresenta cobertura detalhada de rodovias, ruas e acessos urbanos (OpenStreetMap Contributors, 2026).

Antes da geração dos itinerários, a malha viária passou por ajustes. Foram inseridas divisões nos trechos, criados pontos de conexão entre as vias e corrigidas situações que poderiam interromper a continuidade da rede. Buscou-se assegurar que as vias estivessem conectadas de forma compatível com os deslocamentos possíveis.

Os pontos de cada viagem tratada foram então relacionados à malha viária. Esse procedimento empregou princípios de associação da trajetória à rede, a partir do *map matching*. Contudo, não se aplicou um modelo probabilístico específico; a reconstrução foi realizada por meio da análise de rede, considerando a sequência dos pontos, a proximidade das vias e a possibilidade de deslocamento entre as posições registradas.

3.4 Geração e validação dos itinerários

Em vez de construir uma linha média a partir de todas as viagens de uma linha, optou-

se por selecionar uma trajetória representativa para cada combinação de linha, sentido, origem e destino. Essa decisão foi adotada porque a produção de uma média geométrica poderia gerar um traçado localizado entre vias paralelas ou fora da rede efetivamente utilizada.

Na aplicação realizada, a trajetória selecionada foi usada como referência para calcular o percurso sobre a malha viária. A ferramenta de rotas do ArcGIS Pro 3.2.0 (Esri, 2023) conectou os pontos conforme a sua ordem espaço-temporal, respeitando as possibilidades de circulação existentes na rede.

A extensão de cada itinerário gerado foi comparada à quilometragem cadastrada. A diferença percentual foi calculada pela relação entre a diferença absoluta das duas medidas e a extensão cadastrada.

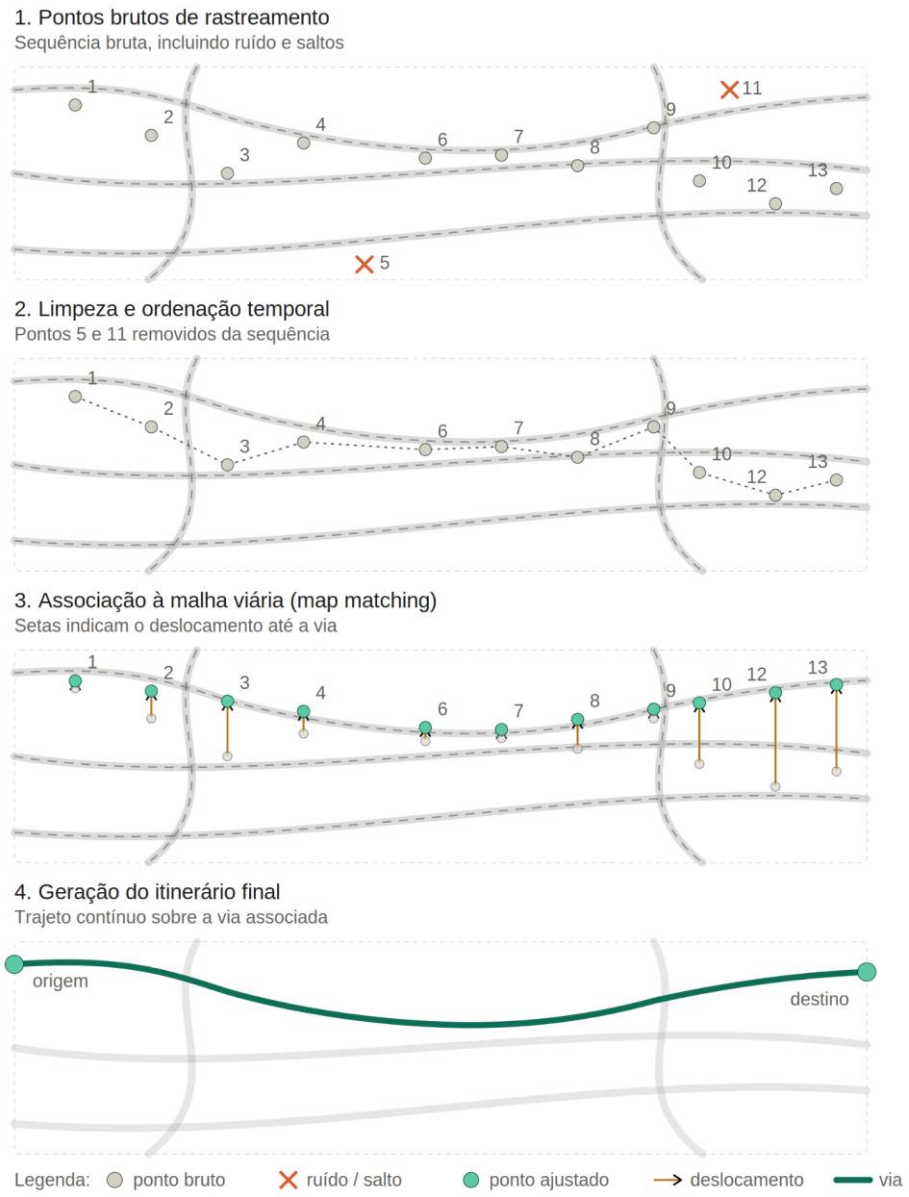
3.5 Estruturação da base cartográfica

Os itinerários gerados foram reunidos em uma camada geográfica única. Cada rota foi relacionada aos dados disponíveis sobre operadora, linha, sentido, origem, destino e fonte de obtenção.

A base foi estruturada de forma a permitir a sua utilização conjunta com outras camadas, especialmente pontos de parada, pontos de seção, municípios e rede viária. A presença de identificadores comuns possibilita relacionar o itinerário a informações operacionais e territoriais sem depender apenas da proximidade visual dos elementos.

A Figura 1 sintetiza as etapas de preparação dos pontos, remoção de ruídos, associação à malha viária e geração do itinerário final, facilitando a compreensão da passagem dos registros brutos ao produto cartográfico.

Figura 1 - Esquema do método de geração e validação dos itinerários



Fonte: elaborada pelos autores (2026).

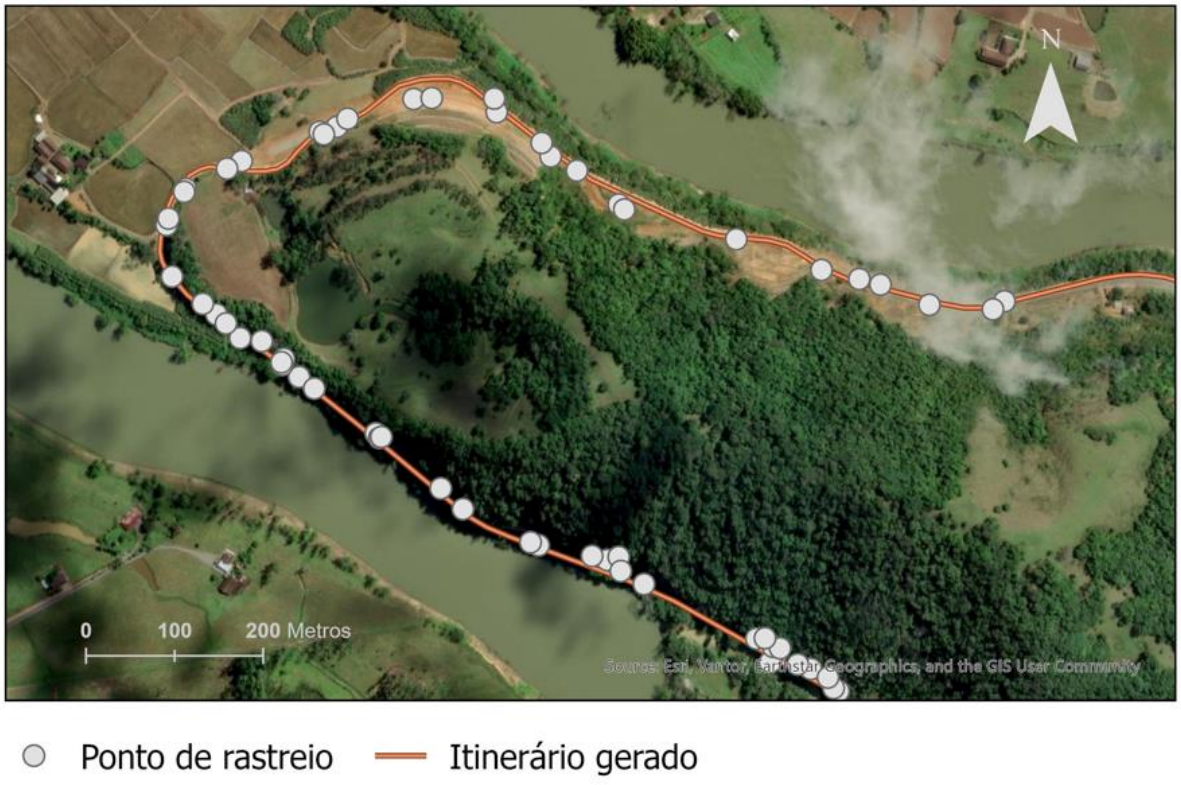
4 RESULTADOS

4.1 Produtos cartográficos gerados

O processamento permitiu gerar automaticamente itinerários para 369 das 447 linhas de ônibus presentes na base de rastreamento veicular, o que corresponde a 82,6% do total analisado. As 78 linhas restantes, equivalentes a 17,4%, não apresentaram registros com qualidade suficiente para a geração automatizada dos respectivos itinerários. Entre os problemas observados, estavam viagens que não começavam na origem cadastrada, não terminavam no destino esperado, apresentavam longos trechos sem registros, possuíam concentração de pontos em um mesmo local ou continham coordenadas fora da sequência provável do deslocamento.

A Figura 2 apresenta o recorte de um itinerário gerado pelo método, permitindo observar a relação entre os pontos de rastreamento e o itinerário reconstruído sobre a rede viária. A representação em escala local exemplifica os resultados e permite visualizar a aderência do trajeto à sequência espacial dos registros.

Figura 2 - Recorte de itinerário gerado a partir dos pontos de rastreamento veicular



Fonte: elaborada pelos autores (2026).

4.2 Avaliação dos itinerários gerados

A qualidade dos itinerários foi avaliada por meio da comparação entre a extensão medida na geometria cartográfica e a quilometragem cadastrada. A análise foi aplicada às rotas da camada consolidada, incluindo itinerários de ida, volta e outras variações operacionais. Do total de rotas avaliadas, 40,9% apresentaram diferença de até 10% entre a extensão cartográfica e a quilometragem cadastrada. A Tabela 1 traz a comparação entre a extensão cartográfica e a extensão cadastrada.

Tabela 1 – Comparação entre a extensão cartográfica e a extensão cadastrada

Diferença entre as extensões	Porcentagem das rotas
Extensão igual à cadastrada	5,0%
Entre 1% e 10%	35,9%
Entre 10% e 20%	21,4%
Entre 20% e 30%	12,3%
Entre 30% e 50%	13,2%

Entre 50% e 100%	10,3%
Acima de 100%	1,7%
Total	**100%**

Fonte: elaborada pelos autores (2026).

Parte dessas divergências foi associada a pontos com localização incompatível que permaneceram na trajetória e produziram desvios, aumentando artificialmente a extensão calculada.

4.3 Estruturação e integração da base cartográfica

A camada final foi estruturada de forma que cada itinerário pudesse ser relacionado às informações operacionais correspondentes à sua linha. Entre os atributos associados, estavam a identificação da operadora, o código da linha, o sentido da viagem, a origem, o destino e a fonte utilizada na elaboração da rota.

A partir dos dados de bilhetagem, também foi possível gerar camadas de pontos de parada e de pontos de seção, sendo que a combinação entre itinerários, paradas e pontos de seção criou uma representação mais completa da rede. Os itinerários mostram por onde os veículos circulam; os pontos de parada representam locais relacionados ao embarque e ao desembarque; e os pontos de seção permitem dividir as viagens em trechos menores de acordo com as tarifas empregadas. Essas informações podem ser analisadas em conjunto com municípios, localidades, vias e outros elementos territoriais.

4.4 Benefícios para o Cadastro Territorial Multifinalitário

Os resultados demonstraram que dados gerados continuamente pela operação do transporte podem ser utilizados na produção e na atualização de uma base cartográfica temática. Nesse sentido, a contribuição ao CTM não está na criação de um cadastro territorial próprio para o transporte, mas na disponibilização de uma camada complementar que pode ser relacionada a outras informações sobre o território.

A contribuição do método para o CTM está na integração entre dados operacionais do transporte e informações territoriais. Ao relacionar os itinerários à rede viária, aos municípios, às localidades, aos pontos de parada e aos pontos de seção, a base produzida amplia as possibilidades de análise sobre a distribuição espacial do serviço. Essa integração pode apoiar a identificação de localidades atendidas, das conexões entre municípios, da cobertura das linhas e das áreas com menor disponibilidade de transporte.

Nesse sentido, a contribuição ao CTM consiste na produção de uma camada temática complementar, estruturada e passível de atualização. Como os dados de localização são gerados continuamente durante a operação dos veículos, o método permite utilizar registros de rastreamento para atualizar os itinerários e identificar possíveis alterações nos percursos. Essa camada pode ser relacionada a outras informações sobre o território, contribuindo para o planejamento da mobilidade, a gestão dos serviços e a realização de estudos futuros sobre acessibilidade e justiça territorial.

5 DISCUSSÃO

Em comparação com os procedimentos convencionais de atualização de itinerários, que se utilizam de levantamentos de campo, desenhos manuais ou arquivos encaminhados, o método proposto integra em um único fluxo a preparação dos registros, o tratamento de inconsistências, a reconstrução de percursos e a identificação de casos que exijam revisão. Essa integração torna o processo mais padronizado, repetível e capaz de tratar grandes volumes de dados. A geração automatizada dos itinerários não substitui integralmente o trabalho técnico e o conhecimento das equipes responsáveis pelo transporte. Os resultados indicam que a abordagem mais adequada é a combinação entre processamento automatizado e validação humana, direcionando a análise manual às linhas que apresentam dados incompletos ou trajetos incompatíveis com as informações cadastrais.

A automatização não deve ser avaliada apenas pela quantidade de rotas produzidas. Um procedimento que gere todos os itinerários, mas mantenha erros de posicionamento e trajetos impossíveis, pode ampliar os problemas existentes no cadastro. Assim, a capacidade de reconhecer situações nas quais o dado não possui qualidade suficiente também constitui um resultado relevante. Conforme discutido por Li *et al.* (2025), o tratamento de trajetórias envolve limpar, organizar e segmentar os registros antes de qualquer interpretação sobre o deslocamento e não apenas produzir linhas.

Uma parcela expressiva das geometrias produzidas apresentou valores próximos daqueles mantidos no cadastro operacional. Entretanto, a proximidade entre as extensões não comprova, isoladamente, que o itinerário esteja correto. Dois percursos diferentes podem possuir comprimentos semelhantes, assim como uma diferença elevada pode decorrer de uma alteração operacional ainda não registrada no sistema.

A qualidade cartográfica deve, portanto, ser compreendida como adequação da informação à finalidade para a qual será utilizada. Para uma visualização geral da distribuição das linhas no território, determinado nível de diferença pode ser aceitável. Para cálculos tarifários, estudos de tempo de viagem ou análises detalhadas de demanda por trecho, pode ser necessário um controle mais rigoroso. A norma ISO 19157-1:2023 reforça essa perspectiva ao orientar que a qualidade dos dados geográficos seja avaliada e comunicada de acordo com sua finalidade de uso (ISO, 2023).

Outro aspecto a ser considerado é a escolha de uma viagem representativa para cada itinerário. Essa opção reduz o volume de registros processados e evita a criação de uma linha média localizada entre vias diferentes. Contudo, uma única viagem pode não representar todas as variações realizadas por uma linha. A própria base consolidada identificou linhas com mais de dois itinerários, demonstrando que alguns serviços possuem percursos alternativos, extensões ou atendimentos específicos.

Quanto à associação dos pontos à rede viária, o procedimento adotado utilizou a sequência temporal dos registros e dos recursos de análise de rede para reconstruir o caminho provável. Essa abordagem apresenta princípios semelhantes aos empregados nas técnicas de associação de trajetórias à rede viária, conhecidas como *map matching*. Entretanto, não foi aplicado um modelo probabilístico específico, como o Modelo Oculto de Markov; por isso, é mais preciso caracterizar o procedimento como uma reconstrução de itinerários orientada

pela rede viária do que como uma aplicação completa de um único algoritmo de *map matching*.

Estudos internacionais apresentam métodos específicos para associação probabilística, tratamento do ruído e reconstrução de trajetórias com diferentes frequências de amostragem (Quddus; Ochieng; Noland, 2007; Newson; Krumm, 2009; Lou *et al.*, 2009). O diferencial do método proposto está na integração dessas preocupações em um fluxo aplicado à atualização de uma base institucional de transporte, reunindo preparação dos dados, identificação de inconsistências, seleção das trajetórias, reconstrução sobre a rede viária, validação e estruturação da camada cartográfica. O método prioriza a aplicação sistemática e reproduzível sobre grandes volumes de registros e a identificação dos casos nos quais a automatização não produz informação suficientemente confiável.

A replicação do método em outros estados, municípios ou sistemas de transporte depende ainda da disponibilidade mínima de dados. Os registros precisam conter coordenadas, data e horário, além de alguma forma de identificação da viagem, da linha ou do veículo. Também são necessárias informações cadastrais que permitam reconhecer a origem, o destino e o sentido do deslocamento. Quando esses elementos não estiverem disponíveis, o fluxo do método deverá ser adaptado.

A base produzida também se aproxima do tema da justiça territorial, na medida em que informações mais completas sobre a distribuição do transporte criam condições para identificar áreas atendidas e localidades com menor cobertura. Contudo, o presente estudo não avalia diretamente desigualdades de acesso; a sua contribuição está em produzir a base geográfica necessária para que essas análises possam ser realizadas de forma mais consistente em trabalhos posteriores.

6 CONCLUSÃO

Este artigo teve como objetivo propor e aplicar um método para transformar dados georreferenciados de rastreamento veicular em itinerários cartográficos do transporte rodoviário intermunicipal de passageiros. Registros produzidos continuamente durante a operação do transporte podem ser utilizados não apenas para acompanhar os veículos, mas também para construir e atualizar bases geográficas relacionadas à mobilidade.

O método também favorece a integração entre as informações de mobilidade e o CTM. Os itinerários produzidos formam uma camada temática que pode ser relacionada à rede viária, aos municípios, às localidades, aos pontos de parada, aos pontos de seção e a outros elementos presentes no território. Essa integração amplia o uso da base para além da gestão operacional, permitindo apoiar análises sobre atendimento territorial, conexão entre municípios, cobertura dos serviços e acesso da população às diferentes áreas.

Os resultados devem ser interpretados considerando algumas limitações. A reconstrução dos itinerários depende da qualidade dos registros de localização, da correta identificação das viagens e da atualização da rede viária utilizada no processamento. Pontos incorretos, grandes intervalos entre registros e inconsistências entre origem e destino podem produzir trajetos incompletos ou extensões superiores às esperadas. Além disso, a seleção de uma única viagem representativa pode não captar todas as variações realizadas por

determinadas linhas.

Como trabalhos futuros, recomenda-se comparar várias viagens de uma mesma linha, permitindo identificar o percurso principal e as variações que ocorrem de forma recorrente. Também devem ser aperfeiçoados os critérios de identificação de coordenadas incorretas e os indicadores utilizados na validação, incluindo medidas de proximidade entre os pontos de rastreamento e a rota produzida. A aplicação de técnicas de inteligência artificial poderá auxiliar na identificação automática de mudanças nos itinerários, na separação entre desvios ocasionais e alterações permanentes e na seleção das trajetórias mais representativas.

Os dados de rastreamento veicular são uma fonte relevante para a produção e a atualização de informações cartográficas de transporte. Quando submetidos a regras claras de preparação, processamento e validação, esses registros podem ser transformados em uma base territorial estruturada, rastreável e atualizável. O método desenvolvido aproxima a gestão do transporte das práticas de integração de dados territoriais e contribui para ampliar o uso do CTM como instrumento de planejamento e apoio à gestão pública.

7 REFERÊNCIAS

BRAKATSOULAS, Sotiris; PFOSER, Dieter; SALAS, Randall; WENK, Carola. On map-matching vehicle tracking data. In: I**nternational Conference on Very Large Data Bases**, 31., 2005, p. 853–864.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Portaria nº 3.242, de 9 de novembro de 2022. Aprova as diretrizes para a criação, a instituição e a atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário – CTM, nos municípios brasileiros. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, edição 214, p. 20, 11 nov. 2022. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-3.242-de-9-de-novembro-de-2022-443240087.

ESRI. **ArcGIS Pro 3.2.0**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2023. Software de Sistema de Informação Geográfica. Disponível em: https://www.esri.com/pt-br/arcgis/products/arcgis-pro/overview.

HUANG, Yuzhu; ABDELHALIM, Awad; STEWART, Anson F.; ZHAO, Jinhua; KOUTSOPOULOS, Haris N. Reconstructing transit vehicle trajectory using high-resolution GPS data. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, 26., 2023. **Proceedings** [...]. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023. p. 5247–5253. DOI: https://doi.org/10.1109/ITSC57777.2023.10422524.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19157-1**:2023: Geographic information — Data quality — Part 1: General requirements. Geneva: ISO, 2023. Disponível em: https://www.iso.org/standard/78900.html. Acesso em: 30 jul. 2026.

LI, Peiyu; TIAN, Zhao; YANG, Yanfang; LIN, Yusong. Trajectory data preprocessing: methods and models. **Electronics**, Basel, v. 14, n. 23, art. 4694, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics14234694.

LINHEIRA, Guilherme; SILVA, Hatan Pinheiro; SILVA, Everton da; SILVA, Liane Ramos da; SÁ, Francisco Eduardo de Mello Franco; ERBA, Diego Alfonso. The guidelines for the Brazilian Multipurpose Cadastre and its relations with international frameworks: LADM, STDM, Fit-for-purpose and FELA. **FIG Joint Land Administration Conference**, Florianópolis, v. 1, n. 1, 2025. Disponível em: https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/fig/article/download/8752/7292/33062.

LOU, Yin; ZHANG, Chengyang; ZHENG, Yu; XIE, Xing; WANG, Wei; HUANG, Yan. Map-matching for low-sampling-rate GPS trajectories. In: **ACM Sigspatial International Conference on Advances in Geographic Information Systems**, 17., 2009, Seattle. New York: ACM, 2009. p. 352–361. DOI: https://doi.org/10.1145/1653771.1653820.

NEWSON, Paul; KRUMM, John. Hidden Markov map matching through noise and sparseness. In: **ACM Sigspatial International Conference on Advances in Geographic Information Systems**, 17., 2009, Seattle. New York: ACM, 2009. p. 336–343. DOI: https://doi.org/10.1145/1653771.1653818.

OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS. **OpenStreetMap**. [S. l.], 2026. Base de dados geográficos colaborativa. Disponível em: https://www.openstreetmap.org.

QUDDUS, Mohammed A.; OCHIENG, Washington Y.; NOLAND, Robert B. Current map-matching algorithms for transport applications: state-of-the-art and future research directions. **Transportation Research Part C**: Emerging Technologies, v. 15, n. 5, p. 312–328, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.trc.2007.05.002.

URBANO, Valeria Maria; ARENA, Marika; AZZONE, Giovanni. Big data for decision-making in public transport management: a comparison of different data sources. **Research in Transportation Business & Management**, Amsterdam, v. 59, art. 101298, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2025.101298.

WAKSMUNDZKI, Tomasz; NIEWIADOMSKA-SZYNKIEWICZ, Ewa; GRANAT, Janusz. Advancing map-matching and route prediction: challenges, methods, and unified solutions. **Electronics**, Basel, v. 14, n. 18, art. 3608, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics14183608.

ZHENG, Yu. Trajectory data mining: an overview. **ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology**, v. 6, n. 3, art. 29, p. 1–41, 2015. DOI: https://doi.org/10.1145/2743025.