



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas

Departamento de Engenharia Urbana

Curso de graduação em Engenharia Urbana



ESCOLA DE MINAS

Matheus Ribeiro Andrade de Matos

AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE AS METODOLOGIAS DO HCM 2010 E HCM 2022 EM UM TRECHO URBANO DA BR-356

**Ouro Preto
2025**

Matheus Ribeiro Andrade de Matos

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE AS METODOLOGIAS DO HCM 2010 E HCM
2022 EM UM TRECHO URBANO DA BR--356**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Urbanista.

Áreas de concentração: Transportes e Mobilidade Urbana; Planejamento e Gestão Urbana.

Orientadora: Prof^a. Dra. Bárbara Abreu Matos

OURO PRETO

2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M433a Matos, Matheus Ribeiro Andrade de.

Avaliação comparativa entre as metodologias do HCM 2010 e HCM 2022 em um trecho urbano da BR-356. [manuscrito] / Matheus Ribeiro Andrade de Matos. - 2025.

48 f.: il.: color., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Bárbara Abreu Matos.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Urbana .

1. Planejamento Urbano. 2. Planejamento rodoviário. 3. Sistema viário. I. Matos, Bárbara Abreu. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 62:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA URBANA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Matheus Ribeiro Andrade de Matos

Avaliação comparativa entre as metodologias do HCM 2010 e HCM 2022 em um trecho urbano da BR-356

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Urbanista

Aprovada em 29 de agosto de 2025

Membros da banca

Dra. Bárbara Abreu Matos - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
M.Sc. Luiza Maciel Costa da Silva - (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais)
M.Sc. Ana Luiza Rodrigues da Silva Santos - (Viavoz Projetos)

Bárbara Abreu Matos, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 04/09/2025



Documento assinado eletronicamente por **Bárbara Abreu Matos, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/09/2025, às 13:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0972356** e o código CRC **23E06F17**.

RESUMO

Este estudo realiza uma análise comparativa entre as metodologias do *Highway Capacity Manual* (HCM) 2010 e 2022, aplicadas a um segmento urbanizado da BR-356, localizado em Ouro Preto (MG). A motivação para a pesquisa decorre da necessidade de avaliar e otimizar a capacidade viária e o Nível de Serviço (NS) das rodovias brasileiras, ao considerar as características locais, como o tráfego misto e as condições geométricas complexas. Para atingir esse objetivo, o estudo foi estruturado em cinco etapas: revisão bibliográfica, coleta e processamento de dados, aplicação das metodologias HCM 2010 e HCM 2022, análise comparativa dos resultados e discussão dos achados. Os resultados demonstraram que a metodologia HCM 2022 oferece uma representação mais fidedigna das condições operacionais das rodovias brasileiras, que reflete com maior precisão a experiência do motorista, especialmente em vias urbanizadas com características geométricas desafiadoras. A comparação revelou que, embora ambas as versões forneçam informações pertinentes sobre a capacidade viária, o HCM 2022 mostrou-se mais sensível a variações no volume de tráfego e apresentou resultados mais compatíveis com a realidade local, o que indica a necessidade de adaptações na infraestrutura viária para garantir maior fluidez e segurança operacional. Conclui-se que a adoção desta metodologia aprimorada pode otimizar o planejamento e a gestão das infraestruturas rodoviárias no Brasil, e contribui para a mitigação de congestionamentos e redução dos índices de acidentes.

Palavras-chave: HCM 2010, HCM 2022, Nível de Serviço, Capacidade Viária, Rodovias Brasileiras, Planejamento Viário.

ABSTRACT

This study presents a comparative analysis between the methodologies of the *Highway Capacity Manual* (HCM) 2010 and 2022, applied to an urbanized segment of BR-356, located in Ouro Preto (MG). The motivation for this research stems from the need to assess and optimize road capacity and Service Level (SL) of Brazilian highways, considering local characteristics such as mixed traffic and complex geometric conditions. To achieve this goal, the study was structured in five stages: literature review, data collection and processing, application of the HCM 2010 and HCM 2022 methodologies, comparative analysis of the results, and discussion of the findings. The results demonstrated that the HCM 2022 methodology provides a more accurate representation of the operational conditions of Brazilian highways, better reflecting the driver's experience, especially on urbanized roads with challenging geometric features. The comparison revealed that, although both versions provide relevant information on road capacity, HCM 2022 proved to be more sensitive to variations in traffic volume and presented results more aligned with local realities, indicating the need for adaptations to road infrastructure to ensure better traffic flow and operational safety. It is concluded that adopting this enhanced methodology can optimize the planning and management of road infrastructures in Brazil, contributing to the mitigation of congestion and the reduction of accident rates.

Keywords: HCM 2010, HCM 2022, Service Level, Road Capacity, Brazilian Highways, Traffic Planning.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
1.1 Justificativa.....	7
1.2 Objetivos	9
1.2.1 Objetivos específicos.....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Breve histórico sobre o rodoviarismo e seus impactos em áreas urbanas.	11
2.2 Uma comparação entre HCM 2010 e HCM 2022.....	12
3 METODOLOGIA	19
3.1 Área de estudo	19
3.2 Coleta de dados para cálculo do NS	22
4 RESULTADOS	29
4.1 Cálculo do Nível de Serviço	29
4.2 Interpretação do Nível de Serviço.....	41
4.3 Impactos no Planejamento de Rodovias Próximas a Áreas Urbanas.....	42
5 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O Brasil enfrenta uma grave crise no trânsito, com altos índices de sinistros e mortes. Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT), no ano de 2024, foram registrados mais de 72 mil acidentes, que resultaram em mais de 6 mil mortes, apenas nas rodovias federais. Nesse contexto, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2024), os sinistros de trânsito são a principal causa de morte entre jovens de 5 a 29 anos em todo o mundo. Reconhecendo a urgência de ações estratégicas sobre esse tema, a Assembleia Geral da ONU, por meio da Resolução nº 74/299, instituiu, em 2020, a Segunda Década de Ação pela Segurança no Trânsito (2021-2030), com a ambiciosa meta de reduzir em pelo menos 50% as mortes e lesões no trânsito até 2030 (CNT, 2024).

Uma pesquisa desenvolvida pela CNT sobre rodovias em 2024 trouxe que de toda malha rodoviária do estado de Minas Gerais, 76,6% apresentam algum de problema. Ainda, 64,6% apresentam problemas no pavimento, 72,2% têm problemas de sinalização e 77,7% têm deficiência na geometria da via (CNT, 2024).

Nesse contexto, tem-se o *Highway Capacity Manual* (HCM), um dos principais referenciais para a avaliação da capacidade viária e do NS de rodovias. Desenvolvido pela *Transportation Research Board* (TRB) das Academias Nacionais de Ciências, Engenharia e Medicina dos Estados Unidos, o HCM teve sua primeira edição publicada em 1950. No Brasil, onde grande parte da malha rodoviária é composta por pistas simples, sua aplicação correta é essencial para a gestão e expansão da infraestrutura viária (Alves et al., 2024).

Assim, o HCM tornou-se uma referência primordial para o estudo de tráfego em todo mundo, incluindo o Brasil, pois permite calcular a capacidade das vias e avaliar o desempenho do tráfego em rodovias e vias urbanas. Sua aplicação é crucial para o planejamento e gestão de infraestruturas de transporte, o que ajuda na projeção da demanda futura e na otimização do fluxo de veículos, o que contribui para reduzir congestionamentos e melhorar a segurança viária. Além disso, o HCM permite identificar pontos críticos de tráfego e orientar decisões sobre melhorias nas vias, como ampliação de faixas ou ajustes em interseções. No Brasil, o uso dessa ferramenta é fundamental, para que seja possível

promover um sistema de transporte mais eficiente, seguro e sustentável (Setti, 2011).

Entre as diversas metodologias presentes no HCM, as edições de 2010 e 2022 se destacam por abordagens distintas na avaliação do NS. Enquanto o HCM 2010 utiliza os parâmetros *Average Travel Speed* (ATS) e *Percent Time Spent Following* (PTSF), o HCM 2022 introduz o conceito de *Follower Density* (FD), que busca representar de forma mais fiel a experiência dos motoristas nas rodovias.

O NS, de acordo com Goldner, é a medida qualitativa da influência de vários fatores nas condições de funcionamento de uma via, sujeita a diversos volumes de tráfego. São elas: velocidade, tempo de percurso, interrupção do tráfego, liberdade de manobras, etc. A comparação entre as metodologias do HCM, torna-se relevante para verificar suas particularidades e qual delas melhor reflete a realidade das rodovias brasileiras.

Outra atualização importante foi a nova categorização das rodovias, que passaram a ser classificadas em dois grupos conforme o limite de velocidade: alta velocidade (≥ 80 km/h) e baixa velocidade (< 80 km/h). Diante dessas mudanças, torna-se fundamental verificar a aplicabilidade dessa metodologia às rodovias brasileiras, para garantir que sua utilização contribua para um planejamento viário mais eficiente e para uma alocação mais precisa de investimentos na infraestrutura rodoviária do país (Utamura et al., 2007).

Desse modo, observa-se a BR-356, também conhecida como Rodovia dos Inconfidentes na região de Ouro Preto (MG), além de ser uma via de grande importância local e turística, que integra o Circuito do Ouro, também é essencial para o escoamento de mercadorias, especialmente minérios, devido à intensa atividade mineradora na região (Gomes, 2024). No entanto, a infraestrutura e as condições operacionais da rodovia envolvem aspectos que torna o estudo relevante para a aplicação e validação das metodologias do HCM 2010 e HCM 2022.

O estudo propõe analisar um trecho da BR-356 que é classificado como rodovia de pista simples, caracterizada pela presença de apenas duas faixas de circulação em sentidos opostos. Nessa configuração, as manobras de

ultrapassagem exigem a utilização da faixa contrária, o que as torna dependentes da existência de brechas na corrente de tráfego oposta e da avaliação da distância segura para a manobra. Além disso, ao longo do município de Ouro Preto, a rodovia intercepta regiões fortemente urbanizadas, tornando a segurança local ainda mais desafiadora. Dessa forma, torna-se necessária uma abordagem técnica robusta para a avaliação e melhoria das infraestruturas rodoviárias.

Diante desse contexto, o uso do Highway Capacity Manual (HCM) apresenta-se como uma importante ferramenta, especialmente diante das particularidades das rodovias de pista simples, como as encontradas em Minas Gerais, que apresentam condições operacionais desafiadoras. Ao comparar as metodologias do HCM 2010 e 2022, espera-se não só aprimorar o entendimento sobre a capacidade viária dessas rodovias, mas também contribuir para um planejamento mais eficaz e seguro, que reduza os riscos de sinistros e melhore a fluidez do tráfego.

1.1 Justificativa

De acordo com uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) sobre rodovias, em 2024, predominam no Brasil as rodovias de pista simples e mão dupla. Essas vias desempenham um papel crucial ao conectar tanto populações remotas, afastadas dos grandes centros urbanos, quanto áreas de alta densidade populacional, o que resulta em uma redução significativa da velocidade nos trechos mais críticos. Quando essas rodovias não atendem aos critérios de capacidade adequados, a duplicação torna-se essencial para aumentar a fluidez do tráfego e a eficiência operacional. A falta de intervenções necessárias pode gerar prejuízos consideráveis aos usuários, incluindo aumento do tempo de viagem, elevação dos custos operacionais e, mais preocupante, um aumento do risco de acidentes, como as colisões frontais.

Por sua vez, o HCM é referência mundial para avaliação da capacidade viária e do NS, mas sua aplicação no Brasil pode ser imprecisa, pois foi desenvolvido para a realidade norte-americana. Dessa forma, estudos que buscam identificar a aplicabilidade da metodologia proposta pelo HCM no cenário brasileiro tendem a contribuir tecnicamente e academicamente em discussões sobre o seu uso.

A alta taxa de deficiências estruturais observada nas rodovias de Minas Gerais, conforme a pesquisa da CNT (2024), reflete um problema generalizado na malha rodoviária brasileira. A ocorrência de pavimentos deteriorados, falhas na sinalização, inadequações na geometria das vias e interferência direta com áreas urbanas compromete significativamente a fluidez do tráfego e a segurança dos usuários. Esse quadro evidencia a urgência de aplicar metodologias para avaliar com precisão as condições operacionais das rodovias, permitindo identificar as intervenções necessárias e propor melhorias de infraestrutura, com o foco na melhoria da segurança.

No contexto das concessões rodoviárias, o NS calculado pelo HCM é um critério essencial para determinar intervenções estruturais, como a duplicação de rodovias. Decisões equivocadas, baseadas em metodologias que não consideram adequadamente a realidade brasileira, podem levar tanto a investimentos desnecessários quanto à omissão de obras essenciais, impactando diretamente custos operacionais e tarifas de pedágio. Estima-se que, apenas em 2024, os sinistros em rodovias federais já tenham custado ao Brasil aproximadamente R\$ 8 bilhões, o que demonstra a urgência de aprimorar ferramentas de análise viária (Portal do Trânsito, 2024).

Com o objetivo de modernizar a infraestrutura viária e aumentar a segurança na região, o Governo de Minas Gerais lançou, em 2024, uma consulta pública para a concessão da BR-356, integrando o programa “Novo Acordo de Mariana”. O projeto prevê um investimento total de aproximadamente R\$ 6 bilhões ao longo da concessão, dos quais R\$ 2 bilhões são aportados pelo Estado, em decorrência do acordo de repactuação pelo rompimento da barragem do Fundão, em Mariana, em 2015. Essas intervenções contemplam, inclusive, a construção de contornos viários que visam desviar o tráfego de veículos pesados das áreas urbanas de Ouro Preto e Mariana. A proposta também abrange serviços de manutenção contínua e atendimento emergencial, que busca mitigar os riscos associados à alta circulação de veículos pesados, à baixa visibilidade em curvas e às rampas acentuadas. Com essas melhorias estruturais e operacionais, espera-se um impacto significativo na fluidez do tráfego e na redução dos sinistros de trânsito na Rodovia dos Inconfidentes.

Diante disso, este estudo se justifica pela necessidade de avaliar a aplicabilidade das metodologias do HCM 2010 e do HCM 2022 no trecho da Rodovia dos Inconfidentes, um segmento que apresenta desafios operacionais como traçado sinuoso, relevo acidentado e alto fluxo de veículos pesados e de passeio. A comparação entre o HCM 2010 e o HCM 2022 permitirá avaliar se a nova metodologia reflete melhor as condições reais das rodovias brasileiras e se pode ser aplicada como referência na análise e planejamento da infraestrutura viária em trechos com características semelhantes. A partir dessa investigação, espera-se contribuir para o aprimoramento dos estudos de capacidade viária no Brasil, e auxiliar na definição de estratégias mais eficazes para a gestão e o desenvolvimento da malha rodoviária do país.

Além disso, o impacto desta pesquisa ultrapassa os limites da área de estudo. Considerando que a malha rodoviária brasileira possui mais de 1,7 milhão de quilômetros de extensão, sendo apenas 12,4% pavimentada, a adequação dos métodos de avaliação viária pode contribuir para um planejamento rodoviário mais eficiente em nível nacional (CNT, 2024). Dessa forma, este estudo busca fornecer subsídios técnicos para embasar futuras revisões metodológicas e políticas de gestão da infraestrutura de transporte.

1.2 Objetivos

Este estudo tem como objetivo aplicar e comparar as metodologias do HCM 2010 e HCM 2022 em um trecho urbanizado da BR-356, em Ouro Preto (MG). Além de avaliar o Nível de Serviço (NS), a pesquisa busca identificar diferenças entre os métodos e analisar a adequação dos modelos ao contexto das rodovias brasileiras.

1.2.1 Objetivos específicos

São objetivos específicos do trabalho:

- Revisar as metodologias do HCM 2010 e HCM 2022 para rodovias de pista simples no contexto brasileiro, destacando diferenças, aplicações e limitações.
- Aplicar as metodologias do HCM 2010 e HCM 2022 para determinar o NS no trecho estudado e comparar os resultados gerados, bem como a aplicação para o cenário brasileiro.

- Avaliar as implicações dos resultados para o planejamento viário, especialmente em relação a decisões sobre infraestrutura, segurança e fluidez do tráfego.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Breve histórico sobre o rodoviarismo e seus impactos em áreas urbanas.

A persistente trajetória de aumento da utilização do transporte individual e a queda do transporte público no Brasil refletem políticas urbanas que favoreceram o automóvel privado em detrimento de um sistema de mobilidade mais sustentável e acessível. Matos (2022, p. 40) afirma que “o rodoviarismo já se mostrava presente nas políticas de Estado para o desenvolvimento e integração nacional desde o início do Século XX”.

Desde esse momento até os dias atuais, foram sancionadas diversas leis de incentivo à indústria automobilística e ao rodoviarismo, com destaque para o Plano de Metas do governo de Juscelino Kubitschek (1956-1960), que previa metas de pavimentação, construção de novas rodovias e produção de veículos, bem como atração da indústria automobilística para o país (Matos, 2022). Superar essa tendência exige não apenas investimentos em transporte público, mas também em políticas que desincentivem o uso excessivo do automóvel e promovam um planejamento urbano integrado, garantindo acesso equitativo à mobilidade (Pereira et al., 2021).

A priorização histórica do transporte individual nas cidades brasileiras não apenas compromete a sustentabilidade da mobilidade urbana, mas também acentua desigualdades no acesso a oportunidades essenciais, como emprego, educação e saúde. Rodovias inseridas no espaço urbano têm comumente se tornado obstáculos ao acesso e à mobilidade, especialmente para os deslocamentos por modos não motorizados. Esse fenômeno, conhecido como 'efeito barreira', se intensifica com o crescimento demográfico, expansão do tecido urbano e acréscimo da frota de veículos automotores (Matos, 2022, p. 194)

O crescimento acelerado das cidades e o aumento da circulação de pessoas e mercadorias intensifica o congestionamento e a fragmentação espacial, o que torna nítido a necessidade de um planejamento urbano mais eficiente (Pereira, et al. 2021). O modelo rodoviarista, ao priorizar o automóvel, tem causado sérios impactos nas áreas urbanas, como destaca Gehl (2013). Ao

focar no transporte individual, as cidades se tornam fragmentadas, com rodovias atuando como barreiras que dificultam o acesso e a circulação, especialmente para pedestres e ciclistas. Esse enfoque não só aumenta o congestionamento e a poluição, mas também desconsidera a dimensão humana do espaço urbano, prejudicando a qualidade de vida e acentuando desigualdades no acesso a serviços essenciais. Em vez de promover a mobilidade inclusiva, o rodoviarismo reforça a exclusão e a falta de sustentabilidade, tornando as cidades menos acessíveis e mais segregadas.

Desse modo, o modelo rodoviarista, com seus efeitos negativos sobre a mobilidade urbana e a equidade social, exige uma reflexão mais profunda sobre os rumos das cidades brasileiras. A necessidade de repensar o planejamento urbano se reflete também nas metodologias utilizadas para avaliar o desempenho das infraestruturas rodoviárias e de mobilidade. Um exemplo disso é a comparação entre as edições de 2010 e 2022 do HCM, que, embora não tragam soluções diretas para os problemas do rodoviarismo, oferecem ferramentas importantes para a análise e avaliação da capacidade das vias urbanas.

2.2 Uma comparação entre HCM 2010 e HCM 2022

O HCM 2010 consolidou uma metodologia amplamente utilizada para a avaliação do NS em rodovias de pista simples. Seu modelo baseia-se em três principais métricas: Velocidade Média de Viagem (ATS – *Average Travel Speed*), Porcentagem de Tempo Trafegando em Pelotão (PTSF – *Percent Time-Spent-Following*) e Porcentagem da Velocidade de Fluxo Livre (PFFS – *Percent of Free Flow Speed*). Essas medidas foram empregadas para avaliar aspectos como fluidez do tráfego, conforto do motorista e liberdade para manobras, onde são aplicadas de maneira diferenciada conforme a classe da rodovia (TRB, 2022).

O HCM 2022, por sua vez, introduziu mudanças significativas na determinação do NS para rodovias de pista simples. A substituição das métricas ATS, PTSF e PFFS pelo conceito de Densidade de Seguidores (FD – *Follower Density*), que representa uma nova abordagem, que busca aprimorar a análise da interação entre veículos e a formação de pelotões no tráfego. Além disso, o HCM 2022 passou a classificar as rodovias com base no limite de velocidade, ao qual podemos classificar entre vias de alta velocidade (≥ 80 km/h) e baixa

velocidade (< 80 km/h), o que altera os critérios de avaliação do desempenho viário (Kittelson, 2021).

Essas mudanças refletem a evolução das metodologias aplicadas à engenharia de tráfego, o que torna essencial a comparação entre os modelos do HCM 2010 e do HCM 2022 para verificar sua aplicabilidade em diferentes contextos rodoviários, especialmente em vias com características geométricas e operacionais complexas, como a Rodovia dos Inconfidentes (BR-356) (Alves et al., 2024).

A necessidade de adaptação metodológica para o contexto brasileiro não é recente. Diversos estudos nacionais já indicavam limitações na aplicação direta das edições anteriores do HCM. Setti et al. (2011), por exemplo, realizaram um estudo em dez trechos de rodovias de pista simples no estado de São Paulo e constataram que os modelos originais do HCM 2000 não refletiam com precisão a realidade operacional dessas vias. Os autores propuseram ajustes empíricos baseados em dados locais, resultando em estimativas de NS mais coerentes com o comportamento do tráfego brasileiro.

Outro estudo relevante, desenvolvido por Bessa Júnior e Setti (2016), questionou a aplicabilidade da métrica *Percent Time-Spent Following* (PTSF), utilizada no HCM 2010, por apresentar dificuldades operacionais em medições de campo no Brasil. Os autores recomendaram o uso de indicadores alternativos, como a relação fluxo-velocidade, mais viáveis em termos práticos. Essa discussão alinha-se diretamente às inovações propostas pelo HCM 2022, que substitui o PTSF pela métrica *Follower Density* (FD), buscando uma representação mais precisa da experiência dos condutores em rodovias de pista simples.

Nesse sentido, estudos recentes, como o de Alves et al. (2024) e no estudo de Matos et al (2024), onde aplicaram ambas as metodologias em trechos reais e constataram nos dois estudos que o HCM 2022 tende a indicar níveis de serviço superiores aos do HCM 2010, o que pode influenciar diretamente decisões relacionadas à gestão e à concessão de rodovias. Tais evidências reforçam a necessidade de avaliar criticamente a aplicabilidade das versões do HCM no contexto nacional, especialmente em trechos de topografia acidentada e tráfego misto, como os observados na Rodovia dos Inconfidentes.

Para realizar essa comparação primeiro é preciso definir que o trecho de estudo se trata de uma rodovia de duas faixas com sentidos de tráfego contrário, ou seja, pista simples. O HCM utiliza uma classificação específica para as rodovias de pista simples. A classe da rodovia determina como é avaliado o seu NS (TRB, 2022).

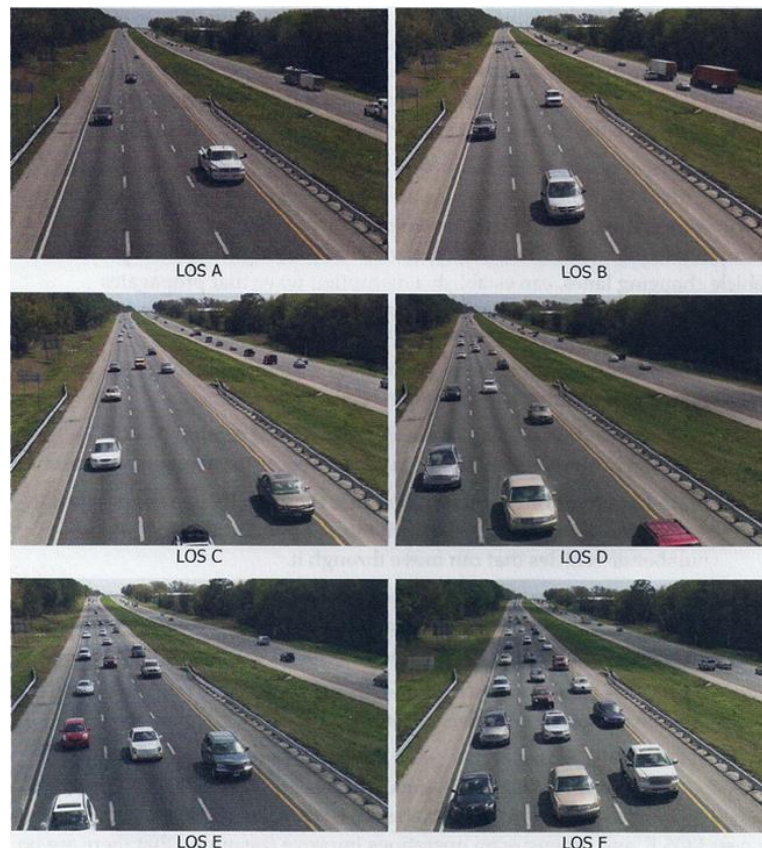
- **Classe I:** Rodovias de alta velocidade que conectam cidades e geradores de tráfego importantes, sendo usadas para viagens longas e deslocamentos diários.
- **Classe II:** Rodovias com velocidade menor, que dão acesso a rodovias Classe I, frequentemente em áreas turísticas ou terrenos acidentados, sendo utilizadas para viagens curtas.
- **Classe III:** Rodovias que atravessam áreas urbanas menores ou recreacionais, onde o tráfego local se mistura com o de passagem, havendo mais pontos de acesso e limites de velocidade reduzidos.

A avaliação do NS das rodovias é essencial para entender a qualidade operacional das vias. De acordo com o TRB (2000), entende-se como NS:

É uma medida qualitativa de operação de uma via e, sua definição envolve características de tráfego que possam descrever as expectativas dos usuários em relação à qualidade operacional da rodovia, tais características são denominadas medidas de eficácia ou medidas de desempenho (TRB, 2000, p. 2-2 a 2-3, tradução nossa).

A seguir são apresentadas as características de cada NS, pela Figura 1.

Figura 1: Representação dos diferentes níveis de serviço em uma rodovia.



Fonte: Goldner (2016).

A análise do NS nas rodovias é essencial para avaliar as condições de tráfego e a eficiência das vias. A partir dessa avaliação, é possível identificar problemas de congestionamento e orientar melhorias na infraestrutura, visando otimizar o desempenho das rodovias.

O HCM 2010 utiliza três medidas principais para determinar o NS em rodovias de pista simples:

- **Velocidade Média de Viagem (ATS – *Average Travel Speed*):** representa a mobilidade na rodovia.
- **Porcentagem de Tempo Trafegando em Pelotão (PTSF – *Percent Time-Spent-Following*):** indica a liberdade para manobras e o conforto da viagem.

- **Porcentagem da Velocidade de Fluxo Livre (PFFS – *Percent of Free Flow Speed*):** avalia a possibilidade de os veículos trafegarem na velocidade regulamentar ou próxima dela.

A relevância dessas medidas varia conforme a classe da rodovia, sendo utilizadas de forma diferenciada para determinar o nível NS de cada segmento. A seguir temos a Tabela 1 com essa relação.

Tabela 1: Medidas utilizadas para a determinação do NS para as diferentes classes de rodovia de pista simples.

Classe da rodovia	Crítérios	Medidas utilizadas
Classe I	Velocidade e conforto	ATS e PTSF
Classe II	Conforto	PTSF
Classe III	Velocidade próxima da velocidade limite	PFFS

Fonte: Adaptado de Goldner (2016).

A Tabela 2 mostra os critérios para determinar o NS para rodovias de pista simples Classe III, que será o caso do nosso trecho em estudo.

Tabela 2: Critérios para NS para rodovias de pista simples de Classe III.

NS	CLASSE III
	PFFS (%)
A	>91.7
B	>83.3-91.7
C	>75.0-83.3
D	>66.7-75.0
E	≤66.7

Fonte: Adaptado de Goldner (2016).

Já no HCM 2022 não é mais utilizado o PTSF, ATS e PFFS como parâmetros para a determinação do NS. Em seu lugar, adota calculada para um sentido de tráfego.

A densidade de seguidores é definida como o número de veículos em estado de seguidor por quilômetro e por faixa. Essa métrica é utilizada para avaliar o NS em rodovias de pista simples, pois reflete tanto a demanda de tráfego quanto a influência das características geométricas. Rodovias com densidades semelhantes podem apresentar percentuais de seguidores distintos e vice-versa, tornando essencial a análise conjunta desses fatores para representar com mais precisão a qualidade do serviço (Kittelson, 2021).

O cálculo pode ser feito através da Equação 1.

$$FD = \frac{PF}{100} \times \frac{Vd}{ATSd} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

PF: É a porcentagem de veículos em pelotão na direção de análise.

Vd: É o fluxo de tráfego na direção de análise (cpe/h) (volume contado/FHP).

ATS: É a velocidade média no sentido da análise (km/h).

O cálculo da FD para obter o NS é realizado em várias etapas que incluem a realização de ajustes para condições não básicas. A Tabela 3 apresenta os critérios do HCM 2022 para definir o NS em rodovias de pista simples.

Tabela 3: Critério para NS de rodovias de pistas simples.

<i>Follower Density (Followers/mi/h)</i>		
NS	<i>Higher -Speed Highways</i>	<i>Lower - Speed Highways</i>
	<i>Posted Speed Limit ≥50 mi/h</i>	<i>Posted Speed Limit <50 mi/h</i>
A	≤2.0	≤2.5
B	>2.0-4.0	>2.5-5.0
C	>4.0-8.0	>5.0-10.0
D	>8.0-12.0	>10.0-15.0
E	>12.0	>15.0
F	Demanda de capacidade excedida	

Fonte: Adaptado Kittelson. (2021).

A densidade de seguidores é definida como o número de veículos em estado de seguidor por milha por faixa. Matematicamente, é o produto da porcentagem de seguidores pela densidade. Essa medida é usada como o

indicador de serviço para rodovias de duas faixas devido à sua sensibilidade tanto à demanda de tráfego quanto à variabilidade do alinhamento geométrico (TRB, 2022).

A partir de informações descritas no Manual do HCM 2022, Se a razão demanda-capacidade for menor ou igual a 1,0, a densidade de seguidores é utilizada como a medida de serviço para todas as rodovias de duas faixas. No entanto, são usadas duas faixas de limites de NS para levar em conta as diferenças na percepção dos motoristas entre dirigir em rodovias de alta velocidade e rodovias de baixa velocidade.

- Rodovias de duas faixas de alta velocidade (≥ 50 mi/h): Nessas rodovias, a velocidade absoluta e o atraso devido a restrições de ultrapassagem geralmente são importantes para os motoristas. Rodovias de alta velocidade de duas faixas são mais comumente encontradas em rotas intermunicipais.
- Rodovias de duas faixas de baixa velocidade (< 50 mi/h): Essas rodovias são tipicamente intraurbanas e situadas em áreas cênicas ou rurais. Elas geralmente têm limites de velocidade postados entre 35-45 mi/h e oferecem oportunidades limitadas de ultrapassagem. Para essas rodovias, velocidades mais altas geralmente não são esperadas, e percentagens mais altas de seguidores são toleradas.

Consequentemente, os limites de densidade de seguidores para um dado NS são mais altos para rodovias de baixa velocidade do que para rodovias de alta velocidade.

A evolução das metodologias do HCM reflete a necessidade de adaptação dos critérios de avaliação do NS às mudanças no comportamento do tráfego e às particularidades das rodovias. A substituição de métricas tradicionais por novos indicadores evidencia um esforço para tornar as análises mais representativas da realidade operacional das vias. Nesse contexto, compreender as implicações dessas alterações é fundamental para a escolha do método mais adequado, permitindo não apenas a aplicação correta dos conceitos, mas também uma interpretação mais precisa dos resultados obtidos.

3 METODOLOGIA

Este estudo segue uma abordagem metodológica estruturada para avaliar a capacidade viária e o NS em rodovias de pista simples, com base nas metodologias propostas pelo HCM 2010 e HCM 2022. Estudos anteriores realizados por Goldner serviram de orientação e suporte ao presente estudo. A pesquisa compreende cinco etapas principais: revisão teórica, coleta e processamento de dados, aplicação das metodologias, análise comparativa e discussão dos resultados.

3.1 Área de estudo

As rodovias localizadas na região de Ouro Preto, que apresenta um relevo acidentado, possuem traçados sinuosos e aclives acentuados, características típicas da topografia montanhosa de Minas Gerais. Essas condições afetam diretamente a fluidez do tráfego e a segurança viária, especialmente em trechos de pistas simples, onde as ultrapassagens são limitadas e, muitas vezes, realizadas em condições inseguras (Ferreira, 2018). A interação entre veículos leves, caminhões e ônibus turísticos intensifica a formação de pelotões de veículos, um fenômeno diretamente abordado na nova métrica introduzida pelo HCM 2022, o FD.

A complexidade operacional dessa região evidencia a necessidade de estudos aprofundados sobre a capacidade viária e o NS da BR 356. A comparação entre as metodologias do HCM 2010 e HCM 2022 permitirá avaliar qual abordagem melhor representa a realidade do tráfego local. Essa análise poderá fornecer subsídios técnicos para embasar futuras melhorias na infraestrutura, como a possível duplicação de trechos críticos, a implementação de faixas adicionais para ultrapassagem e aprimoramentos na gestão do tráfego, para dessa forma, garantir maior eficiência e segurança viária.

Portanto, a Rodovia dos Inconfidentes, além de sua importância histórica e cultural, se apresenta como um caso emblemático para estudos de engenharia de tráfego. Seu trecho de estudo, em especial, reflete os desafios enfrentados por muitas rodovias brasileiras de pista simples, onde o crescimento da demanda não é acompanhado por investimentos estruturais na mesma proporção. A infraestrutura limitada, somada ao traçado sinuoso e à presença de tráfego misto, impacta diretamente a fluidez e a segurança viária, ao qual torna-se

essencial a aplicação de metodologias que permitam avaliar com precisão o desempenho operacional da rodovia.

Dessa forma, foi definido a área de estudo em um trecho de aproximadamente 1,2km da BR-356, sentido Mariana / Ouro Preto. Este segmento da rodovia desempenha um papel fundamental na mobilidade urbana da cidade, conectando bairros em expansão, como Nossa Senhora do Carmo, Novo Horizonte, Jardim Itacolomi e Lagoa. Além disso, é uma rota essencial para o turismo, a economia local e o transporte de minérios. A Figura 2 ilustra esse trecho.

Figura 2: Área de estudo - Trecho da BR-356



Fonte: Google Earth Pro (2023).

Conforme elucidado por Gomes (2024):

Para o município de Ouro Preto, a rodovia é um dos principais corredores de transporte, conectando sua sede aos distritos e a outros municípios importantes, como Belo Horizonte, Itabirito e Mariana. No entanto, a rodovia também é um local onde os sinistros de trânsito são comuns. Segundo dados da Confederação Nacional do Transporte (2022), a BR-356 ficou em 5º lugar no ranking de sinistros de trânsito, com 473 vítimas, e também na mesma posição no ranking de vidas perdidas, com 69 mortes ao longo de toda sua extensão (Gomes, 2024, p.38).

A BR-356, no trecho entre Mariana e Ouro Preto, apresenta desafios operacionais significativos devido à combinação de inclinação média constante de 4%, alta presença de veículos pesados, curvas sinuosas e baixa visibilidade em interseções (Araújo, 2018).

Em novembro de 2024, o Governo do Estado de Minas Gerais iniciou o processo de concessão de trechos da BR-356, no contexto do Novo Acordo de Mariana, com o objetivo de modernizar a infraestrutura e ampliar a segurança viária. Como desdobramento dessa iniciativa, foi publicado em março de 2025, pela Secretaria de Estado de Infraestrutura, Mobilidade e Parcerias (Seinfra), o edital da concessão do lote denominado “Via Liberdade”. O projeto prevê investimentos da ordem de R\$ 6 bilhões, dos quais R\$ 2 bilhões são provenientes dos recursos do referido acordo, e abrange um importante corredor logístico, turístico e econômico da região. A licitação está prevista para ocorrer em julho de 2025, na sede da Bolsa de Valores (B3), em São Paulo (Agência de Minas, 2024; INFRAESTRUTURA MG, 2025).

As intervenções propostas envolvem a duplicação de mais de 120 quilômetros de rodovias, a implantação de 30 quilômetros de terceiras faixas e a disponibilização de acostamento em 100% dos trechos contemplados, totalizando 187 quilômetros nas rodovias BR-356, MG-262 e MG-329. Espera-se que tais medidas resultem em uma redução de aproximadamente 45% no número de acidentes e superior a 60% nos acidentes com vítimas fatais, além da diminuição no tempo médio de viagem. A cobrança de pedágio está condicionada à conclusão das obras previstas para o primeiro ano de contrato, que incluem a recuperação do pavimento e a revitalização da sinalização horizontal e vertical (G1 Minas, 2025; INFRAESTRUTURA MG, 2025).

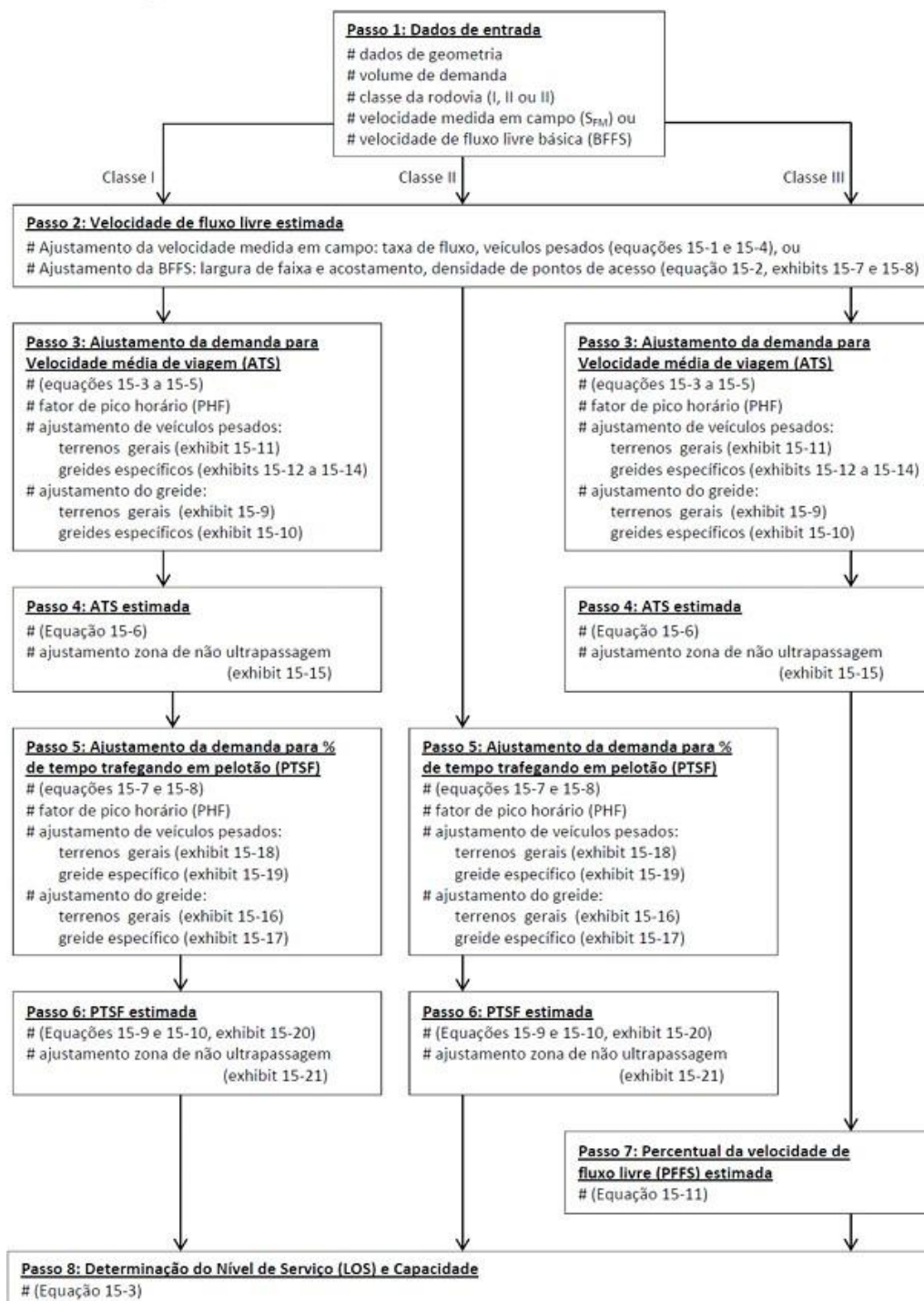
A escolha desta área de estudo justifica-se pela combinação de características operacionais e de segurança viária que a tornam representativa dos desafios enfrentados em rodovias de pista simples, especialmente nas condições topográficas e de tráfego da BR-356. O relevo acidentado e os traçados sinuosos impõem limitações para a realização de ultrapassagens seguras, enquanto a presença de veículos pesados, agravam os aspectos operacionais. Além disso, a alta taxa de sinistros no trecho, associada às condições de tráfego misto e ao crescimento da demanda, reforça a necessidade

de avaliação precisa do NS e da capacidade viária. As intervenções previstas no processo de concessão, que incluem a duplicação de trechos, a implantação de faixas adicionais e a revitalização da infraestrutura, tornam este segmento um cenário relevante para a análise do impacto de melhorias estruturais na segurança e fluidez do tráfego.

3.2 Coleta de dados para cálculo do NS

Para calcular os parâmetros necessários, na metodologia do HCM 2010, será seguido os passos que Goldner (2016) destacou e traduziu do manual dessa edição, em sua apostila “Análise de Capacidade de Vias com base no HCM 2010”. Basicamente a Figura 3 apresenta um fluxograma com os passos para realizar esse cálculo.

Figura 3: Fluxograma produzido por Goldner (2016), em sua apostila “Análise de Capacidade de Vias com base no HCM 2010” para cálculo do NS seguindo a metodologia do HCM 2010.



Fonte: Goldner (2016)

Como trata-se de um trecho urbano, podemos classificar a via em classe 3, o que pelo fluxograma indica que teremos que seguir os passos 1, 2, 3, 4 e 7.

No passo 1 (Dados de entrada), são reunidos os dados geométricos e operacionais do segmento e da demanda que alimentam os cálculos seguintes: classe da rodovia, velocidade/FFS de referência, percentual de zonas de não ultrapassagem, pontos de acesso, volumes por direção, PHF (Fator Hora Pico), composição de pesados (para cálculo de fatores e equivalentes), e características de greide/terreno. Esses itens aparecem distribuídos nas seções da metodologia (FFS, ATS, PFFS) e na caracterização da Classe III.

Na sequência, o passo 2 (Velocidade de fluxo livre estimada (FFS)), é realizado o cálculo do FFS, que é preferencialmente medida em campo em baixos volumes (< 200 veic/h), com amostragem de velocidade (1 a cada 10 veículos, amostra ~ 100). Se os dados forem coletados com volumes > 200 veic/h, aplica-se a Equação 15-1 com ajuste de veículos pesados. Na falta de dados de campo, parte-se de uma FFS básica (BFFS) — frequentemente associada à velocidade de projeto (ou, de modo grosseiro, ao limite de velocidade $+ 10$ mi/h) e corrige-se por largura de faixa/acostamento (fls) e pontos de acesso (fa) via Equação 15-2.

Adiante, o passo 3 (Ajustamento do fluxo de demanda para a velocidade média de viagem (ATS)), os volumes por direção são convertidos para equivalentes de carros de passeio no pico de 15 min, aplicando PHF, fator de greide (fg,ATS) conforme o terreno/segmentos de aclave/declive, e fator de veículos pesados (fHV,ATS) com os equivalentes ET/ER. O resultado são V_d,ATS e V_o,ATS (pc/h), insumos do cálculo de ATS. A apostila detalha quando tratar greide específico e como obter os equivalentes de pesados.

Na etapa seguinte, no passo 4 (Estimar ATS (aplicado às Classes I e III)), com a FFS do passo 2 e os fluxos ajustados do passo 3, calcula-se a ATS na direção de análise (ATS_d), incorporando o ajuste por zona de não ultrapassagem (f_{np},ATS). A apostila lista as variáveis usadas (ATS_d ; FFS; V_d,ATS ; V_o,ATS ; F_{np},ATS) e observa que V_o é em pc/h.

Por fim, o passo 7 (Estimar PFFS (somente Classe III)), para a Classe III (contexto urbano), a medida de desempenho usada para o NS é o Percentual da

FFS (PFFS), calculado como a razão entre a ATS direcional e a FFS do segmento: Em seguida, o NS é obtido pela Tabela 15-3 específica da Classe III.

Para alcançar os objetivos estabelecidos, foram conduzidas Contagem Classificatórias de Veículos (CCV). A CCV visa determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos que passam por um ou vários pontos selecionados do sistema viário, numa determinada unidade de tempo. Essas informações serão usadas como dados de entrada nas duas metodologias do HCM.

Inicialmente para realizar essa contagem é necessário selecionar um trecho específico, dentro da área de estudo, para posicionar a câmera. Para isso foi levado em consideração um local de fácil instalação da câmera e boa visibilidade dos veículos. A Figura 4 e a Figura 5 ilustram o segmento da rodovia selecionado para a filmagem, enquanto a Figura 6 corresponde a uma imagem capturada pela câmera durante o processo de contagem dos veículos.

Figura 4: Área de estudo - Trecho BR-356 (Área específica escolhida para realizar a filmagem).



Fonte: Google Earth Pro (2023). Adaptado pelo autor,

Figura 5: Imagem do Street View pelo Google Eath Pro, do trecho específico em que foi feito a filmagem.



Fonte: Google Earth Pro (2025).

Figura 6: Imagem da própria câmera em que foi realizado a contagem de veículos.



Fonte: Própria (2025).

A pesquisa foi realizada no dia 09 de julho de 2025, em uma quarta-feira, com o objetivo de obter maior proximidade do tráfego real do local durante o dia a dia. O horário escolhido para filmagem foi de 12:00 às 13:00, um intervalo com duração de 1h. O objetivo foi capturar o maior movimento no local, devido as características do local, que possui áreas comerciais, centros urbanos e a própria rodovia. A CCV feita foi de 1h, dividida em 4 intervalos de 15 minutos, realizado para os dois sentidos da via

Para a determinação da velocidade dos veículos, em virtude da inexistência de recursos específicos e precisos para a medição direta desse parâmetro, foi adotado o cálculo baseado no tempo de deslocamento. Para tanto, foram selecionadas aleatoriamente 50 amostras de veículos, e cronometrado o tempo necessário para percorrer uma distância pré-determinada. A Figura 7 ilustra o ponto inicial e o ponto final da distância em questão, que foi utilizada para o cálculo da velocidade dos 50 veículos amostrados.

Figura 7: A imagem indica o trecho selecionado para cronometrar o tempo de deslocamento de 50 veículos.



Fonte: Própria (2025).

O PTSF representa a fração do tempo em que os veículos trafegam em pelotões, isto é, em zonas de não ultrapassagens, ao longo de um percurso. Embora seja um indicador consagrado de qualidade operacional, medi-lo em campo exige rastrear continuamente cada veículo por todo o segmento, algo pouco prático e sujeito a imprecisões.

Vale destacar que até a 6ª edição do *Highway Capacity Manual* (HCM) o PTSF integrava os critérios de desempenho. Na edição mais recente, esse parâmetro foi retirado, reforçando o uso de alternativas como o PF quando se deseja uma estimativa prática da influência de pelotões.

Para contornar essa limitação, adotou-se o Percent Followers (PF), métrica recomendada quando não se dispõe de dados de trajeto completo. O PF mede a porcentagem de veículos que passam por um ponto da rodovia como “seguidores”, definido como aqueles cujo *headway* (intervalo temporal até o veículo à frente) é igual ou inferior a 3 segundos. O procedimento foi:

- **Coleta de dados:** Análise de todo o vídeo (1h)
- **Classificação:** contagem de cada veículo que chegou com *headway* ≤ 3 segundos, excluindo o primeiro de cada pelotão (o líder).
- **Cálculo do PF:** razão entre veículos seguidores e o total observado.

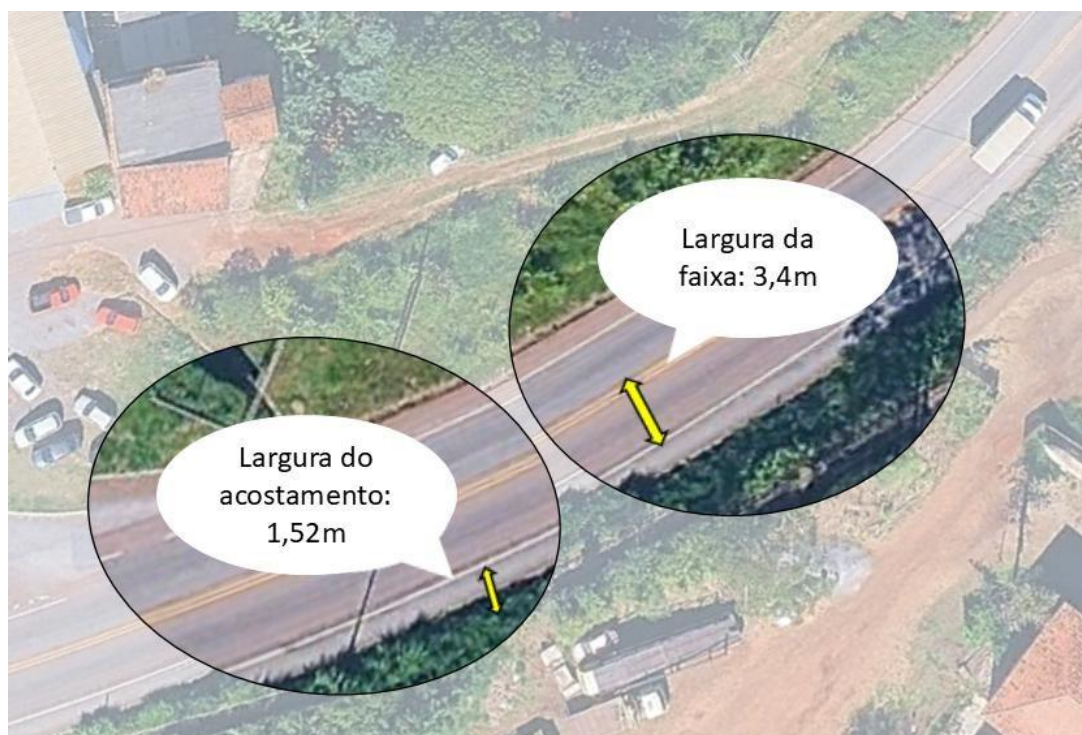
Desse modo, será possível determinar o PF e todos os parâmetros necessários para a realização dos cálculos, pela metodologia do HCM 2010. Para o HCM 2022, os passos serão mais simples, basta determinar o parâmetro FD, por meio de uma equação em que os demais parâmetros utilizados no cálculo já serão previamente obtidos.

4 RESULTADOS

4.1 Cálculo do Nível de Serviço

Após a definição do local de filmagem, foram realizadas as medições geométricas do trecho em estudo. Utilizou-se o software Google Earth Pro para determinar as dimensões da largura da faixa de rolamento e do acostamento, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8: Imagem para visualização dos dados geométricos da largura da faixa e do acostamento medidas pelo Google Earth Pro.



Fonte: Google Earth Pro (2023). Adaptado pelo autor.

O trecho classifica-se como classe III, devido à combinação de tráfego local e de passagem, com maior densidade de acessos e velocidades reduzidas em áreas urbanizadas. Possui relevo predominantemente plano, mas com 100% da extensão sem zonas de ultrapassagem. A extensão total do segmento é de 1,2 km, com largura da faixa de 3,4 m e acostamento de 1,52 m. A seguir a Tabela 4 mostra de forma resumida os dados geométricos.

Tabela 4: Compilação dos dados geométricos coletados do trecho em estudo.

Dados Geométricos do trecho de estudo	
Parâmetros Geométricos	Valores
Comprimento total do trecho (km)	1,2
Largura da faixa (m)	3,4
Largura do acostamento (m)	1,52
Inclinação (%)	3

Fonte: Própria (2025).

Na Figura 9 é apresentado a definição dos sentidos A e B para realizar a CCV. A Tabela 5 apresenta os valores encontrados no sentido A e a Tabela 6 para o sentido B.

Figura 9: Imagem de identificação do sentido A e sentido B da via.



Fonte: Própria (2025).

Tabela 5: Valores obtidos da contagem de veículos do trecho em estudo, no sentido A no período de 12:00 às 13:00 do dia 07 de julho de 2025.

Intervalo	Contagem classificatória volumétrica – Sent. A			
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão
12:00 às 12:15	98	10	2	15
12:15 às 12:30	86	8	4	19
12:30 às 12:45	91	10	1	11
12:45 às 13:00	100	22	2	13

Fonte: Própria (2025).

Tabela 6: Valores obtidos da contagem de veículos do trecho em estudo, no sentido B no período de 12:00 às 13:00 do dia 07 de julho de 2025.

Intervalo	Contagem classificatória volumétrica – Sent. B			
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão
12:00 às 12:15	73	18	1	19
12:15 às 12:30	85	13	2	16
12:30 às 12:45	103	11	2	17
12:45 às 13:00	74	19	3	4

Fonte: Própria (2025).

A partir dos dados da Tabela 5 e Tabela 6 é necessário definir alguns parâmetros que serão utilizados nas metodologias para o cálculo do NS.

A registrou um total de 492 veículos, correspondendo a 51,7% do fluxo total, enquanto o sentido B contou com 460 veículos, representando 48,3% do fluxo total. Essa distribuição reflete uma proporção aproximada de 50/50 entre os fluxos dos dois sentidos. A porcentagem de veículos pesados no sentido A foi de 13,6%, composta por 9 ônibus e 58 caminhões. No sentido B, o percentual foi ligeiramente superior, atingindo 13,91%, com 8 ônibus e 56 caminhões.

A Tabela 7 representa o tempo gasto de cada uma das 50 amostras coletadas para percorrer o trajeto definido.

Tabela 7: Tabela do tempo gasto de cada uma das 50 amostras coletadas para percorrer o trajeto definido.

Veículo	Tempo (s)	Veículo	Tempo (s)
1	2,98	25	4,81
2	3,96	26	4,46
3	3,83	27	4,62
4	4,74	28	4,15
5	4,08	29	3,44
6	8,44	30	4,15
7	5	31	4,8
8	2,71	32	5,72
9	3,63	33	6,59
10	4,02	34	7,44
11	3,43	35	4,62
12	5,08	36	3,63
13	3,89	37	3,82
14	3,1	38	4,09
15	3,95	39	4,61
16	4,29	40	3,37
17	2,83	41	3,56
18	3,75	42	4,88
19	3,7	43	4,49
20	5,26	44	4,15
21	3,63	45	3,38
22	4,29	46	4,09
23	3,17	47	4,81
24	5,47	48	3,83
25	4,81	49	4,22
26	4,46	50	3,57

Fonte: Própria (2025).

A extensão desse trecho foi medida em 43 metros. Desse modo, a média das 50 amostras para percorrer esse trecho foi de 4,3 segundos, o que resulta em uma velocidade média de 36 km/h.

Ao aplicar o critério que considera apenas os veículos seguidores de cada pelotão (isto é, todos os veículos exceto o líder), verificou-se que no Sentido A havia 287 veículos em pelotão, equivalentes a 58,33 % do fluxo total nesse sentido; já no Sentido B foram identificados 258 veículos em pelotão,

correspondendo a 56,09 % do tráfego. Esses resultados indicam que, em ambos os sentidos, mais da metade dos veículos trafegava em condições de pelotão, o que reforça a relevância desse fenômeno para a avaliação do desempenho operacional da via.

Logo, com os dados obtidos até o momento, será dado início a aplicação das metodologias de cada edição para determinar o NS. Primeiramente será feito pela metodologia do HCM 2010, onde será seguido os passos estabelecidos por Goldner (2016), conforme apresentado na Figura 3.

Passo 1: Dados de entrada.

- dados de geometria
- volume de demanda
- classe da rodovia (I, II ou III)
- velocidade medida em campo (SFM) ou velocidade de fluxo livre básica (BFFS)

Os dados de geometria da via estão na Tabela 4. A rodovia é classificada em classe III e a velocidade medida em campo foi de 22,4mi/h, já nas medidas imperiais que é utilizado no software.

Passo 2: Velocidade de fluxo livre estimada (FFS).

- Ajustamento da velocidade medida em campo: taxa de fluxo, veículos pesados (equações 15-1 e 15-4), ou
- Ajustamento da BFFS, largura de faixa e acostamento, densidade de pontos de acesso (equações 15-2, *exhibits* 15-7 e 15-8)

Como no caso em questão as mostras coletadas resultaram em um volume superior a 200 veículos por hora, é orientado utilizar a equação 1

$$FFS = s_{FM} + 0,00776 \left(\frac{v}{f_{HV}} \right) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

FFS $\Rightarrow$ velocidade de fluxo livre estimada (km/h);

S_FM $\Rightarrow$ velocidade média da amostra (mi/h);

v $\Rightarrow$ fluxo de tráfego observado, nas duas direções, durante o período de medição (veic/h);

f_HV,ATS $\Rightarrow$ fator de ajustamento de veículos pesados, para ATS.

Ao aplicar os parâmetros na fórmula, temos a Equação 2:

$$FFS = 22,4 + 0,00776 \frac{1080}{0,97} = 31,04 \quad \text{Equação (2)}$$

Foi encontrado o valor de 31,04 para FFS, dessa forma será iniciado o próximo passo.

Passo 3: Ajustamento da demanda para Velocidade média de viagem (ATS).

- equações 15-3 a 15-5
- fator de pico horário (PHF)
- ajustamento de veículos pesados:
 - terrenos gerais (*exhibit* 15-11)
 - greides específicos (*exhibits* 15-12 a 15-14)
- ajustamento do greide:
 - terrenos gerais (*exhibit* 15-9)
 - greides específicos (*exhibit* 15-10)

As equações 3 e 4 descritas na apostila do passo 3, para cálculo do NS.

$$v_{i,ATS} = \frac{V_i}{PHF \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}} \quad \text{Equação (3)}$$

onde:

$v_{i,ATS}$ $\Rightarrow$ equivalente em carros de passeio para a taxa de fluxo do período de pico de 15 minutos (pc/h);

$i \Rightarrow$ “d” (direção da análise) ou “o” (direção oposta);

$f_{g,ATS}$ $\Rightarrow$ fator de ajustamento de greide (a partir de V/PHF);

$V_i \Rightarrow$ volume da demanda para o pico horário completo, na direção i (veic/h);

$f_{HV,ATS}$ $\Rightarrow$ fator de ajustamento para veículos pesados;

$PHF \Rightarrow$ fator de pico horário, que representa a variação do fluxo de tráfego dentro da hora.

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$P_T \Rightarrow$ proporção de caminhões e ônibus no fluxo de tráfego (decimal);

$P_R \Rightarrow$ proporção de RV's no fluxo de tráfego (decimal);

$E_T \Rightarrow$ Equivalente em carros de passeio para caminhões e ônibus;

$E_R \Rightarrow$ Equivalente em carros de passeio para RV's.

Para resolver as equações foi necessário encontrar todos os parâmetros.

Primeiro é necessário encontrar o fator de ajustamento (F_{hy}).

O P_t é o percentual de veículos pesados que foi de 0,136 já convertido para decimal. O P_r refere-se a porcentagem de veículos recreacionais, que seria uma espécie de trailer, muito comum nos Estados Unidos. Por tratar-se de uma via brasileira, onde esse tipo de veículo não é comum, foi considerado como 0 esse valor. O valor de E_t e E_r foi pego por meio de tabela, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10: Tabela para encontrar o valor equivalente em carros de passeio para veículos pesados e recreacionais, com base no volume por sentido e tipo de terreno.

Exhibit 15-11
ATS Passenger Car
Equivalents for Trucks (E_T)
and RVs (E_R) for Level
Terrain, Rolling Terrain, and
Specific Downgrades

Vehicle Type	Directional Demand Flow Rate, V_{vph} (veh/h)	Level Terrain and Specific Downgrades	Rolling Terrain
Trucks, E_T	≤ 100	1.9	2.7
	200	1.5	2.3
	300	1.4	2.1
	400	1.3	2.0
	500	1.2	1.8
	600	1.1	1.7
	700	1.1	1.6
	800	1.1	1.4
	≥ 900	1.0	1.3
RVs, E_R	/ All flows	1.0	1.1

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Fonte: Goldner (2016).

Ao considerar o volume de veículos de 492 no sentido A e 460 no sentido B, é preciso ajustá-los com o fhp, que foi de 0,9 o que resulta respectivamente em um volume de 547 e 512. Logo, ao saber que o terreno é plano, o valor de E_t equivalente para esses volumes vai ser de 1,2.

Para encontrar o valor de f_g , ATS, foi utilizado uma tabela, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11: Tabela de ajustamento de fator fg, ATS, baseado no volume por sentido e no tipo de terreno.

One-Direction Demand Flow Rate, V_{vph} (veh/h)	Adjustment Factor	
	Level Terrain and Specific Downgrades	Rolling Terrain
≤100	1.00	0.67
200	1.00	0.75
300	1.00	0.83
400	1.00	0.90
500	1.00	0.95
600	1.00	0.97
700	1.00	0.98
800	1.00	0.99
≥900	1.00	1.00

Note: Interpolation to the nearest 0.01 is recommended.

Exhibit 15-9
ATS Grade Adjustment Factor
($f_{g,ATS}$) for Level Terrain, Rolling
Terrain, and Specific Downgrades

Para entrar nas tabelas dividir o volume horário pelo PHF.

Fonte: Goldner (2016)

Desse modo, foram obtidos todos os parâmetros necessários para realizar os cálculos das equações representadas nas equações 3 e 4. Foi utilizado o software Microsoft Excel para auxílio e organização dos dados, conforme mostra a Figura 12.

Figura 12: Organização dos cálculos e parâmetros feito pelo autor na qual foi utilizado o software Microsoft Excel.

Sent. A			Sent. B		
Parâmetro	Valor	Fonte	Parâmetro	Valor	Fonte
Vi	492		Vi	460	
FHP	0,9		FHP	0,9	
fg,ATS	1,00	tab 15-9	fg,ATS	1,00	tab 15-9
fhv,ATS	0,97		fhv,ATS	0,99	
Pt	13,6%		Pt	13,6%	
Et	1,2	tab 15-11	Et	1,1	tab 15-11
Pr	0%		Pr	0%	
Er	1	tab 15-11	Er	1	tab 15-11

vi, ATS =	492		vi, ATS =	460	
	0,88			0,89	
vi, ATS =	562	cp/h	vi, ATS =	518	cp/h
fhv,ATS =	1		fhv,ATS =	1	
	1,03			1,01	
fhv,ATS =	0,97		fhv,ATS =	0,99	

Fonte: Própria (2025).

Dessa forma foi obtido para o Sentido A, um valor de fhv, ATS igual a 0,97 e volume equivalentes de veículos de 562. Para o sentido B foi encontrado 0,99 e 518 para os respectivos parâmetros.

Passo 4: ATS estimada.

- Equação 15-6
- Ajustamento zona de não ultrapassagem (*exhibit* 15-15)

O passo 4 consiste na estimativa do ATS, que pode ser feito pela resolução da fórmula descrita na equação 5.

$$ATS_d = FFS - 0.00776 (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{np,ATS} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

$ATS_d \Rightarrow$ Velocidade média de viagem na direção de análise (mi/h);

$FFS \Rightarrow$ Velocidade de fluxo livre (mi/h);

$v_{d,ATS} \Rightarrow$ Taxa de fluxo de demanda na direção de análise (pc/h);

$v_{o,ATS} \Rightarrow$ Taxa de fluxo de demanda na direção oposta (pc/h);

$f_{np,ATS} \Rightarrow$ Fator de ajustamento para ATS devido à porcentagem de zonas de não ultrapassagem na direção de análise.

O valor de $f_{np,ATS}$, foi obtido por tabela, conforme mostra a

Figura 13.

Figura 13: Tabela para obtenção do valor de f_{np} , relacionado a % de zonas de não ultrapassagem com o volume de tráfego no sentido contrário.

Exhibit 15-15
ATS Adjustment Factor for
No-Passing Zones ($f_{np,ATS}$)

Opposing Demand Flow Rate, v_o (pc/h)	Percent No-Passing Zones				
	≤ 20	40	60	80	100
FFS ≥ 65 mi/h					
≤100	1.1	2.2	2.8	3.0	3.1
200	2.2	3.3	3.9	4.0	4.2
400	1.6	2.3	2.7	2.8	2.9
600	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0
800	0.7	1.0	1.2	1.4	1.5
1,000	0.6	0.8	1.1	1.1	1.2
1,200	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1
1,400	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9
≥1,600	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
FFS = 60 mi/h					
≤100	0.7	1.7	2.5	2.8	2.9
200	1.9	2.9	3.7	4.0	4.2
400	1.4	2.0	2.5	2.7	3.9
600	1.1	1.3	1.6	1.9	2.0
800	0.6	0.9	1.1	1.3	1.4
1,000	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2
1,200	0.5	0.7	0.9	0.9	1.1
1,400	0.5	0.6	0.8	0.8	0.9
≥1,600	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7
FFS = 55 mi/h					
≤100	0.5	1.2	2.2	2.6	2.7
200	1.5	2.4	3.5	3.9	4.1
400	1.3	1.9	2.4	2.7	2.8
600	0.9	1.1	1.6	1.8	1.9
800	0.5	0.7	1.1	1.2	1.4
1,000	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1
1,200	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0
1,400	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9
≥1,600	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7
FFS = 50 mi/h					
≤100	0.2	0.7	1.9	2.4	2.5
200	1.2	2.0	3.3	3.9	4.0
400	1.1	1.6	2.2	2.6	2.7
600	0.6	0.9	1.4	1.7	1.9
800	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3
1,000	0.4	0.4	0.7	0.9	1.1
1,200	0.4	0.4	0.7	0.8	1.0
1,400	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8
≥1,600	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
FFS ≤ 45 mi/h					
≤100	0.1	0.4	1.7	2.2	2.4
200	0.9	1.6	3.1	3.8	4.0
400	0.9	0.5	2.0	2.5	2.7
600	0.4	0.3	1.3	1.7	1.8
800	0.3	0.3	0.8	1.1	1.2
1,000	0.3	0.3	0.6	0.8	1.1
1,200	0.3	0.3	0.6	0.7	1.0
1,400	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7
≥1,600	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6

Note: Interpolation of $f_{np,ATS}$ for percent no-passing zones, demand flow rate, and FFS to the nearest 0.1 is recommended.

Fonte: Goldner (2016).

Com todos os parâmetros encontrados até o momento temos a Equação 6:

$$ATS_d = 31,04 - 0,00776(562 + 518) - 2,7 = 19,96 \quad \text{Equação (6)}$$

Passo 7: Percentual de velocidade de fluxo livre (PFFS) estimada.

- Equação 15-11

Em seguida é iniciado o último passo, no qual será calculado o PFFS, por meio da equação 7, onde já foram obtidos todos os parâmetros necessários para o cálculo.

$$PFFS = \frac{ATS_d}{FFS} \quad \text{Equação (7)}$$

Dessa forma temos a Equação 8:

$$PFFS = \frac{19,96}{31,04} = 0,6430 \quad \text{Equação (8)}$$

Com o valor de PFFS encontrado de 64,30%, por meio de análise da Tabela 2, encontra-se um NS E.

Com o NS E obtido por meio da metodologia do HCM 2010, serão realizados os procedimentos necessários para classificar o NS com base na metodologia do HCM 2022, que adota o FD como parâmetro principal. Serão mantidos os mesmos valores para os parâmetros, existindo apenas e exclusivamente a alteração da metodologia. Portanto, o FD pode ser estimado utilizando a Equação 9:

$$FD = \frac{PF}{100} \times \frac{V_d}{ATS_d} \quad \text{Equação (9)}$$

Onde:

PF $\Rightarrow$ É a porcentagem de veículos em pelotão na direção de análise.

Vd $\Rightarrow$ É o fluxo de tráfego na direção de análise (cpe/h) (volume contado/FHP).

ATS $\Rightarrow$ É a velocidade média no sentido da análise (km/h).

O cálculo da FD para obter o NS é realizado em várias etapas que incluem a realização de ajustes para condições não básicas.

Desse modo, substituindo os valores, temos a equação 10:

$$FD = \frac{58,33}{100} \times \frac{492}{19,96} = 14,38 \quad \text{Equação (10)}$$

O trecho em análise refere-se a uma via com limite de velocidade inferior a 50 milhas por hora (mi/h). Ao aplicar o valor de 14,38 ao cálculo, obtém-se um NS classificado como D.

Foi determinado um NS E por meio do HCM 2010 e um NS D pelo HCM 2022. A análise foi realizada com os mesmos dados, com alteração apenas nas particularidades de cada metodologia.

4.2 Interpretação do Nível de Serviço

O resultado de acordo com a metodologia do HCM 2010, foi um NS E. De acordo com Goldner (2016) um Nível de Serviço E no HCM 2010 corresponde a uma situação que o tráfego é próximo da capacidade da via e as velocidades são baixas. As paradas são frequentes, sendo instáveis e forçadas as condições de circulação.

Ao utilizar a metodologia do HCM 2022, foi encontrado um NS D, que significa de acordo com seu manual, um cenário em que os motoristas ainda conseguem manter velocidades razoáveis, mas a formação de filas já é significativa e a densidade de seguidores começa a ser alta. Embora a ultrapassagem ainda seja possível, ela se torna mais difícil devido ao volume de veículos na via.

Essa diferença entre as metodologias revela uma abordagem distinta na análise das condições viárias: o HCM 2010 adota uma postura mais conservadora, ao considerar que a rodovia está em uma condição de quase saturação, onde destaca a instabilidade operacional e a dificuldade de manobras. Por outro lado, o HCM 2022 oferece uma perspectiva mais otimista, que, embora o tráfego esteja denso e com a formação de pelotões, ainda existem condições de operação razoáveis.

A distinção entre os Níveis de Serviço E, obtido pela metodologia HCM 2010, e D, determinado pelo HCM 2022, possui grande relevância prática no contexto do planejamento urbano, especialmente no que diz respeito à definição de intervenções viárias e otimização da infraestrutura. Essa diferença pode atuar como um gatilho para a implementação de obras de melhoria.

4.3 Impactos no Planejamento de Rodovias Próximas a Áreas Urbanas

No contexto do planejamento urbano, essa diferença pode ter impactos significativos nas decisões sobre infraestrutura. Ao adotar a metodologia do HCM 2010, em um planejamento de rodovias próximo a áreas urbanas, este, poderá atingir o gatilho de NS E, que normalmente acionaria a necessidade de intervenções estruturais como a duplicação de faixas, faixas exclusivas de ultrapassagem e ajustes na sinalização. Isso poderia resultar em adiantamento de obras e intervenções precoces, que seriam implementadas antes da necessidade real, devido à visão mais pessimista da metodologia.

Por outro lado, ao utilizar o HCM 2022, a classificação de NS D pode adiar ou até mesmo não acionar a necessidade dessas obras, pois a metodologia apresenta uma visão mais otimista, sugerindo que a via ainda pode operar razoavelmente bem, permitindo que os gestores urbanos adotem estratégias mais graduais. Contudo, essa abordagem poderia levar a atrasos nas intervenções necessárias, o que poderia impactar negativamente a segurança e a fluidez do tráfego ao longo do tempo.

Essa dinâmica de escolha entre intervenções antecipadas e estratégias graduais sublinha a importância de ajustar as metodologias às condições locais. No caso de áreas urbanas com tráfego misto e condições geométricas complexas, a metodologia mais conservadora do HCM 2010 pode ser mais

apropriada para intervir antes que os problemas se tornem críticos. No entanto, em trechos onde o tráfego ainda apresenta capacidade de operação razoável, a abordagem otimista do HCM 2022 pode ajudar a evitar investimentos desnecessários e proporcionar uma gestão mais eficiente e adaptada ao contexto local.

A escolha da metodologia tem um impacto significativo nas estratégias de planejamento urbano, que determina o momento das intervenções e a adequação dos investimentos em infraestrutura viária. A compreensão das diferenças entre as abordagens do HCM 2010 e HCM 2022 é crucial para garantir que as decisões sobre infraestrutura sejam precisas e baseadas em uma análise detalhada das condições reais de tráfego, otimizando tanto a segurança quanto a eficiência viária.

5 CONCLUSÃO

A comparação entre as metodologias HCM 2010 e HCM 2022 revela diferenças significativas na maneira como as condições de tráfego são avaliadas, o que impacta diretamente as decisões sobre intervenções viárias e o planejamento urbano. O HCM 2010, com sua abordagem mais conservadora e a classificação de NS E, sugere uma necessidade maior de intervenções em rodovias já sobrecarregadas, o que pode levar a investimentos precoces para evitar a saturação e melhorar a fluidez do tráfego. Por outro lado, o HCM 2022, ao classificar a rodovia com NS D, oferece uma perspectiva mais otimista, o que indica que as condições ainda são razoáveis, mas com a necessidade de intervenções graduais no futuro.

O HCM 2010 adota uma abordagem mais conservadora, onde a rodovia pode estar operando em condições próximas à saturação, com ênfase na instabilidade operacional. Já o HCM 2022 oferece uma perspectiva mais flexível, com uma visão otimista do tráfego, no qual a via ainda pode operar de maneira razoável, embora com sinais de congestionamento. Dada a complexidade das condições viárias e a variabilidade de contextos urbanos, é necessário realizar estudos comparativos adicionais para avaliar e confirmar a eficácia de ambas as metodologias em diferentes cenários. O incentivo a continuação de futuras pesquisas sobre essas duas metodologias permitirá uma análise mais profunda sobre a aplicabilidade de cada abordagem, o que ajuda a identificar qual delas oferece os resultados mais precisos e adequados para a gestão da infraestrutura urbana.

Ressalta-se que este estudo apresenta limitações: a filmagem utilizada para a CCV contemplou apenas uma janela de 1 hora, o que reduz a representatividade temporal e não assegura a identificação da hora de pico; o Fator Hora de Pico (PHF) foi estimado, e não medido diretamente em campo; e a velocidade média de viagem foi obtida por amostragem e processamento manual, sujeitos a erros de mensuração e viés amostral. Essas escolhas decorreram de restrições de recursos e instrumentação. Para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de filmagens de 24 horas para delimitar com precisão a hora de pico e calcular o PHF, bem como a aferição de velocidades com instrumentos dedicados e calibrados. Adicionalmente, é importante documentar

os procedimentos de calibração e estimar a incerteza de medição, pois pequenas variações nos insumos podem resultar em diferenças significativas nos resultados. Por fim, sugere-se estender a avaliação a rodovias de outras classes, de modo a comparar o desempenho das duas metodologias em contextos operacionais distintos.

Em suma, este estudo contribui para um entendimento mais profundo sobre a aplicabilidade do HCM no contexto urbano brasileiro, o que sugere que as decisões sobre obras e investimentos em infraestrutura sejam sempre baseadas em análises rigorosas e adaptadas à realidade local, para garantir um planejamento viário eficiente, que atenda de forma eficaz às necessidades de mobilidade urbana e à segurança dos usuários.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE MINAS. Consulta pública sobre concessão da BR-356 é aberta pelo Governo de Minas. Belo Horizonte, 25 nov. 2024. Disponível em: <https://www.agenciaminas.mg.gov.br/>. Acesso em: 1 jun. 2025.

AGÊNCIA MINAS. Novo Acordo de Mariana: Governo de Minas lança consulta pública para projeto que prevê melhorias em rodovias da região. Disponível em: <https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/novo-acordo-de-mariana-governo-de-minas-lanca-consulta-publica-para-projeto-que-preve-melhorias-em-rodovias-da-regiao>. Acesso em 28 de mar. 2025.

ALVES, et al. Avaliação comparativa de metodologias do Highway Capacity Manual com dados reais de campo em rodovia de pista simples: um estudo focado nas atualizações até o HCM2022. [S.l.]: [s.n.], 2024. Disponível em: http://www.exemplo.com/artigo_vivian.pdf. Acesso em: 26 fev. 2025.

ALVIM, Angélica Tanus Benatti; IZAGA, Fabiana Generoso de; FORRAY, Rosanna. Mobilidade urbana em perspectiva: novos olhares sobre as dinâmicas da cidade contemporânea. Cadernos Metrôpole, São Paulo, v. 26, n. 60, p. 413-421, maio/ago 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2024-6000>. Acesso em: 06 mar. 2025.

ARAÚJO, Lucas Moreira. Avaliação do índice de segurança potencial: BR-356, trecho entre Ouro Preto e Mariana. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1593/9/MONOGRAFIA_Avalia%C3%A7%C3%A3o%C3%8DndiceSeguran%C3%A7a.pdf. Acesso em: 10 mar. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Dados de acidentes em rodovias federais – MG. Brasília: CNT, 2024. Disponível em: <https://cnt.org.br/documento/75bb7fcf-0421-4ddd-b974-7e7e2eed5951>. Acesso em: 20 fev. 2025.

G1 MINAS. Via Liberdade: edital de concessão da BR-356 é publicado pelo Governo de MG. 28 mar. 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/>. Acesso em: 1 jun. 2025.

GEHL, Jan. *Cidades para pessoas*. 2. Disponível em: https://www2.fag.edu.br/professores/solange/2021.1%20-%20URBANISMO%20LEG.%20URBANA%20EST.%20CIDADE/BIBLIOGRAFIA/4.4%20Livro_Cidade_para_pessoas_-_Jan_Gehl_text.pdf. Acesso em 30 de jul. 2025.

GOLDNER, Lenise Grando. Engenharia de tráfego: 3º módulo – análise de capacidade de vias com base no HCM 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/642934621/Apostila-HCM-pdf> Acesso em 01 ago. 2025.

GOMES, Rômulo Evangelista. Estudo sobre a barreira causada pela Rodovia dos Inconfidentes na mobilidade dos pedestres. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/7235>. Acesso em 10 mar. 2025.

GONÇALVES, Monica Villaça; MALFITANO, Ana Paula Serrata. O conceito de mobilidade urbana: articulando ações em terapia ocupacional. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*, v. 29, p. e2523, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2526-8910.ctoARF1929>. Acesso em: 06 mar. 2025.

INFRAESTRUTURA MG. Governo publica edital de concessão do Lote Via Liberdade. Belo Horizonte, 28 mar. 2025. Disponível em: <https://www.infrastructure.mg.gov.br/>. Acesso em: 1 jun. 2025.

KITTELSON & ASSOCIATES, INC. TRB to Release the 7th Edition of the Highway Capacity Manual Before Annual Meeting. Kittelson, 2021. Disponível em: <https://www.kittelson.com/news-and-events/trb-to-release-the-7th-edition-of-the-highway-capacity-manual-before-the-2022-annual-meeting/>. Acesso em: 11 mar. 2025.

MATOS, Bárbara A. MOBILIDADE PEDONAL E O EFEITO BARREIRA DASRODOVIAS URBANAS:as contradições e os conflitos no Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, em Belo Horizonte (MG). Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/41377>. Último acesso em 06 mar. 2025.

MATOS, M. R. A. de; Alves, V. F.; Mendes, O. B. B.; Costa e Souza, I. J. A.; Rodrigues, F.; Rezende, C. C. Análise comparativa entre HCM 2010 e HCM 2022: Implicações para rodovias de pista simples no Brasil. Revista Engenharia de Transportes, [S.l.], 2024. Disponível em: <https://riodetransportes.org.br/21rdt/trabalhos/trabalhos/134-AC-ET.pdf> Acesso em: 25 jun. 2025.

PEREIRA, Rafael H. M. et al. Tendências e desigualdades da mobilidade urbana no Brasil I: O uso do transporte coletivo e individual. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2021. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/acessooportunidades/publication/2021_td2673_tendencias_mob_br1/. Acesso em 6 de mar. 2025.

PORTAL DO TRÂNSITO. Mortos e feridos nas rodovias federais já custaram cerca de R\$ 8 bilhões ao país somente no primeiro semestre de 2024. Disponível em: <https://www.portaldotransito.com.br/noticias/fiscalizacao-e-legislacao/estatisticas/mortos-e-feridos-nas-rodovias-federais-ja-custaram-cerca-de-r-8-bilhoes-ao-pais-somente-no-primeiro-semester-de-2024/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Highway Capacity Manual 2000. Washington, D.C.: National Research Council, 2000. Disponível em: https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/highway_capacital_manual.pdf. Acesso em: 1 jul. 2025.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB). Highway Capacity Manual 7th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis. Washington, D.C.: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022. Disponível em: <https://www.trb.org/Main/Blurbs/182169.aspx>. Acesso em: 20 fev. 2025.

UTIMURA, F. S.; SETTI, J. R.; EGAMI, C. Y.; MON-MA, M. L. Verificação da acurácia de estimativas do nível de serviço em rodovias de pista simples no estado de São Paulo. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001643962>. Acesso em: 20 fev. 2025.