



ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE HCM 2010 E HCM 2022: IMPLICAÇÕES PARA RODOVIAS DE PISTA SIMPLES NO BRASIL

Matheus Ribeiro Andrade de Matos ¹

Vivian Fialho Alves ²

Frederico Rodrigues ³

Igor Jackson Arthur Costa e Souza⁴

Olga Beatriz Barbosa Mendes ⁵

Cristiano Carneiro Rezende⁶

¹ Universidade Federal de Ouro Preto

² Universidade Federal de Ouro Preto

³ Imtraff Consultoria e Projetos de Engenharia

⁴ Imtraff Consultoria e Projetos de Engenharia

⁵ Imtraff Consultoria e Projetos de Engenharia

⁶ Imtraff Consultoria e Projetos de Engenharia

RESUMO

Este estudo tem como objetivo comparar a metodologia de análise de nível de serviço entre as edições do *Highway Capacity Manual* (HCM) de 2010 e 2022, bem como avaliar os impactos da adoção de cada versão como referência para determinar a necessidade de ampliação de capacidade em rodovias de pista simples no Brasil. Para a análise, foram selecionados cinco segmentos da rodovia BR-381, em Minas Gerais, com diferentes características topográficas, a fim de captar a diversidade das condições encontradas no território brasileiro. Dados geométricos e de volume de tráfego horário foram coletados para cada segmento, padronizados e aplicados uniformemente nas duas versões de cálculo. A avaliação revelou diferenças significativas de desempenho entre as versões, ao considerar as particularidades das rodovias nacionais. Os resultados indicam que a edição de 2022 apresenta estimativas de nível de serviço superiores à edição de 2010, reduzindo a necessidade de intervenções de ampliação de capacidade.

Palavras-chave: *Highway Capacity Manual* (HCM). Nível de serviço. Pista Simples.

ABSTRACT

This study aims to compare the level of service analysis methodology between the 2010 and 2022 editions of the *Highway Capacity Manual* (HCM), as well as to assess the impacts of adopting each version as a reference for determining the need for capacity expansion on two-lane highways in Brazil. Five segments of the BR-381 highway in Minas Gerais were selected for analysis, featuring varying topographical characteristics to capture the diversity of conditions found across Brazilian territory. Geometric data and hourly traffic volumes were collected for each segment, standardized, and uniformly applied to both calculation versions. The evaluation revealed significant performance differences between the editions, considering the specificities



of Brazilian highways. The results indicate that the 2022 edition provides higher level-of-service estimates compared to the 2010 edition, thus reducing the need for capacity expansion interventions.

Palavras-chave: *Highway Capacity Manual (HCM). Level of Service. Two-Lane Highways.*

1. INTRODUÇÃO

O *Highway Capacity Manual (HCM)*, manual desenvolvido pelo *Transportation Research Board (TRB)*, é o principal documento utilizado mundialmente para a estimativa e avaliação da capacidade e do Nível de Serviço (NS) de diversos elementos viários, sendo uma referência fundamental para a engenharia de transportes. No Brasil, aproximadamente 92,7% das rodovias pavimentadas é de pista simples (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE, 2018). Logo, a análise precisa da capacidade e do Nível de Serviço é crucial para garantir a eficiência e segurança das rodovias.

O cálculo do Nível de Serviço é uma ferramenta fundamental na engenharia de tráfego, refletindo a experiência dos usuários nas estradas, desde condições de tráfego livre até congestionamentos severos. Fatores como volume de tráfego, capacidade da via, velocidade média dos veículos e tempo de atraso em pontos críticos, como interseções, são considerados para determinar o NS. Para facilitar essa análise, o *Highway Capacity Software (HCS)* foi desenvolvido, aplicando as metodologias descritas no HCM com precisão. Ao longo dos anos, tanto o HCM quanto o HCS passaram por diversas atualizações significativas, refletindo avanços no entendimento do tráfego e nas tecnologias de transporte.

A evolução do cálculo do Nível de Serviço (NS) é evidente ao longo das edições do HCM. Nas edições de 2000, 2010 e 2016, o *Percent Time Spent Following (PTSF)* e o *Average Travel Speed (ATS)* foram os principais fatores considerados, o que torna os cálculos dessas versões bastante semelhantes, pois compartilham parâmetros básicos comuns. Com a chegada do HCM 2022, foi introduzido o conceito de *Follower Density (FD)*, o que trouxe uma nova dimensão à análise do NS.

Entretanto, o HCM foi originalmente desenvolvido com base em pesquisas realizadas nos EUA e Canadá, e foi aplicado no Brasil sem adaptações específicas. Isso gera limitações significativas, uma vez que as condições locais, como comportamento dos usuários, clima, topografia e características do tráfego, diferem das encontradas na América do Norte, conforme análises de décadas atrás (SETTI et al., 2011; PAULA, 2006). Como resultado, avaliações imprecisas podem impactar negativamente o sistema viário brasileiro, seja por custos desnecessários com melhorias ou pela falta de intervenções necessárias. Por isso, é essencial ajustar o HCM às condições brasileiras para que as análises sejam mais precisas e relevantes (Martín, 2018).

No Brasil, a ampliação de rodovias é baseada no Nível de Serviço (NS), que avalia a eficiência de uma via em acomodar o tráfego. Quando o NS atinge níveis críticos, como D, E ou F, indica a necessidade de obras para melhorar o fluxo e a segurança. Essas intervenções são ajustadas às condições e comportamentos específicos dos motoristas brasileiros, que podem diferir das previsões do *Highway Capacity Manual (HCM)* (DNIT, 2006)

A versão mais recente do HCM estabelece, dentre outros assuntos: i) um novo método para determinação dos níveis de serviço para rodovias de pista simples; ii) aperfeiçoamento da

análise do impacto dos pedestres em interseções controladas por PARE; e, iii) proposição de um método para avaliação do impacto de veículos autônomos em interseções (SANTOS, 2022).

Diante desse contexto, o objetivo deste estudo é aplicar o método do HCM 2022 para calcular o nível de serviço em cinco segmentos de pista simples em uma rodovia em processo de concessão, com o software HCS 2024. Em seguida, os resultados obtidos serão comparados com os gerados pela aplicação da metodologia do HCM 2010, utilizando o software HCS 2010 nos mesmos cinco segmentos de pista simples da rodovia. Para realizar essa comparação, optou-se pela utilização do HCM 2010 devido à sua maior rapidez e facilidade de acesso para implementação, uma vez que não havia disponibilidade imediata do HCM 2016 para utilização. Desse modo, utilizando os mesmos dados de entrada para as duas edições, será possível promover uma análise comparativa sobre as diferenças e os impactos gerados por cada metodologia.

2. METODOLOGIA

Para a realização desse estudo, foram utilizados 5 segmentos de pista simples da BR – 381MG, que foram classificados como classe 2 na classificação do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), segundo o seu relevo. Para a escolha dos segmentos foi levado em consideração, a variedade de tipos de relevos: 2 são ondulados, 2 são planos e 1 montanhoso.

A adaptação do tipo de relevo foi realizada com base na tabela 1, obtida do DNER Manual de projeto geométrico de rodovias rurais. Cada tipo de relevo, já pré-estabelecido como variável de entrada, foi associado à sua respectiva porcentagem, para o cálculo na metodologia.

Tabela 1 – Classificação de cada tipo de relevo segundo Manual de projeto geométrico de rodovias rurais.

Classe do projeto	Regiões		
	Plana	Ondulada	Montanhosa
Classe 0	3%	4%	5%
Classe 1	3%	4,5%	6%
Classe 2	3%	5,0%	7%
Classe 3	4%	6%	8%
Classe IV-A	4%	6%	8%
Classe IV-B	4%	8%	10%

Fonte: DNER, Manual de projeto geométrico de rodovias rurais (1999).

Os dados utilizados de volume de tráfego foram obtidos por meio de pesquisas em 2017 e posteriormente uma projeção para análise de 10 anos após o ano de contagem, sendo assim foi considerado o ano de 2026, como o ano a ser analisado. A projeção dos volumes foi calculada com base na variação do PIB no ano em questão. Construiu-se um cenário hipotético em que o gatilho para a execução de obras de ampliação ocorre para um nível de serviço D. Os resultados obtidos serão detalhados e analisados no tópico de aplicação das metodologias.

Segue ilustrado pela Tabela 2, os dados geométricos utilizados para o cálculo do NS em cada software.

Tabela 2 - Informações geométricas de cada segmento.

Características geométricas do segmento						
Segmento	Relevo	Extensão (km)	Velocidade (km/h)	Largura de faixa (m)	Acostamento (m)	FHP (%)
1	Ondulado	8,7	77	3,6	2,5	0,92
2	Plano	39,4	72	3,6	2,5	0,88
3	Plano	25,8	72	3,6	1,5	0,88
4	Ondulado	14,84	77	3,6	2,2	0,88
5	Montanhoso	13,56	77	3,6	1,5	0,88

Fonte: Autores (2024).

No HCM 2010, foi considerado 0% de zonas de não ultrapassagem para todos os segmentos e na edição do HCM 2022, foi selecionado a opção de *Passing zone*, que seria equivalente a 0% de zonas de não ultrapassagem para a edição mais atual. Na tabela 3, temos os dados de tráfego referente a cada segmento utilizado como dados de entrada nas duas versões do HCS.

Tabela 3 – Dados de tráfego de cada segmento.

Dados de tráfego de cada segmento				
Segmento	Sentido	% Pesados	% Por sentido	Fator K
1	Crescente	37%	50%	0,1038
	Decrescente	46%	50%	0,094
2	Crescente	37%	50%	0,1038
	Decrescente	46%	50%	0,09
3	Crescente	32%	52%	0,1038
	Decrescente	34%	48%	0,09
4	Crescente	50%	54%	0,1038
	Decrescente	42%	46%	0,094
5	Crescente	46%	53%	0,1038
	Decrescente	40%	47%	0,094

Fonte: Autores (2024).

Apresentado pela Tabela 4, têm-se os dados de volume de veículos por hora, em casa sentido para todos os trechos.

Tabela 4 - Informações sobre o volume de veículos de 2026 de cada segmento.

Volume de Veic. por hora		
Segmento	Sentido	2026
1	Crescente	444
	Decrescente	406
2	Crescente	444
	Decrescente	406
3	Crescente	650
	Decrescente	553
4	Crescente	910
	Decrescente	642
5	Crescente	680
	Decrescente	537

Fonte: Autores (2024).

Com base nesses dados, utilizou-se a metodologia do HCM 2010 para aplicar os dados de cada segmento, e obter os resultados para ambos os sentidos de cada trecho. O mesmo procedimento foi repetido no HCM 2022. Com os cinco segmentos distintos entre si e os dados de entrada padronizados para as edições HCM 2010 e 2022, foi possível realizar uma análise dos resultados.

3. CÁLCULO DE NÍVEL DE SERVIÇO HCM 2010 X HCM 2022:

O cálculo do nível de serviço passou por modificações em sua versão mais recente, com a introdução de um novo parâmetro que anteriormente não era utilizado. Na edição do HCM 2010, os parâmetros considerados são o *Percent Time Spent Following* (PTSF) e o *Average Travel Speed* (ATS). Já na edição de 2022, foi incorporado o novo parâmetro *Follower Density* (FD). Considerado uma rodovia de classe 1 no HCM, temos, na Tabela 5, é apresentada a classificação do nível de serviço conforme o HCM 2010, e na Tabela 6, a classificação segundo o HCM 2022.

Tabela 5 - Classificação do NS pelo HCM 2010

LOS	CLASSE 1	
	ATS (mi/h)	PTSF (%)
A	>55	35
B	>50-55	>35-50
C	>45-50	>50-65
D	>40-45	>65-80
E	≤40	>80

Fonte: Adaptado TRB (2010).

Tabela 6 - Classificação do NS pelo HCM 2022

LOS	<i>Follower Density</i> (followers / mi/h)	
	<i>Higher-Speed Highways Posted Speed Limit ≥ 50 mi/h</i>	<i>Lower-Speed Highways 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	Demand exceeds capacity	

Fonte: Adaptado TRB (2022).

O *Highway Capacity Manual* 2010 (HCM 2010) é a quinta edição do principal manual global para a análise da capacidade e do nível de serviço de componentes viários, como rodovias de pista simples.

As principais alterações no método do HCM2010 para avaliar rodovias de pista simples, em relação ao método do HCM2000, segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) foram: A extinção da análise bidirecional; para isso, é necessário usar a análise unidirecional e combinar as medidas de desempenho para avaliar segmentos de rodovias em ambas as direções; A reorganização de alguns modelos e tabelas; O acréscimo de uma terceira classe de rodovias, voltadas para regiões urbanizadas; E o acréscimo do método para determinar o nível de serviço em faixas voltadas para ciclistas.

No HCM 2022, a determinação dos níveis de serviço para rodovias de pista simples utiliza uma nova medida de desempenho chamada *Follower Density* (FD), baseada na densidade de veículos em pelotões. As rodovias são classificadas em duas classes: rodovias de alta velocidade, com velocidades regulamentadas iguais ou superiores a 80,46 km/h (50mi), e rodovias de baixa velocidade, com velocidades abaixo de 80,46 km/h (50mi), geralmente encontradas em rotas turísticas e rurais, onde as oportunidades de ultrapassagem são limitadas (SANTOS, 2022).

Segundo o manual do HCM 2022, o *Follower Density* pode ser calculado por meio da equação (1), demonstrada abaixo:

$$FD = \frac{PF}{100} \times \frac{v_d}{ATS} \quad FD = \frac{PF}{100} \times \frac{v_d}{ATS} \quad (1)$$

Onde temos que:

PF = Porcentagem de veículos em pelotões (%)

v_d = Fluxo de tráfego no sentido analisado (veh/h)

ATS = *Average Travel Speed* (mi/h)

As mudanças no HCM 2022 trazem novas possibilidades para a pesquisa em engenharia de tráfego. A simplificação dos parâmetros de entrada facilita a coleta e análise de dados, o que viabiliza o processamento de grandes volumes de informações (SANTOS, 2022).

4. APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS HCM 2010 X HCM 2022

Após compreender as particularidades das metodologias do HCM 2010 e HCM 2022, incluindo seus métodos e parâmetros para o cálculo do Nível de Serviço (NS), realizou-se uma análise comparativa. Utilizando os mesmos dados de entrada nos dois softwares, obtidos a partir de cinco segmentos selecionados da BR-381, comparou-se diretamente os resultados. Cada segmento, com suas características distintas, permitiu observar como as metodologias respondiam às variações nas condições da via.

Tabela 7: Resultados NS, referente ao ano de 2026 feitos pelo HCM 2010 e HCM2022.

Trecho	SENTIDO	HCM 2010	HCM 2022
1	Crescente	D	C
	Decrescente	D	C
2	Crescente	D	C
	Decrescente	D	C
3	Crescente	E	D
	Decrescente	E	D
4	Crescente	E	E
	Decrescente	E	E
5	Crescente	F	E
	Decrescente	E	D

Fonte: Autores, (2024)

Observa-se por meio da análise geral dos resultados que o HCM 2022 apresenta uma visão mais otimista em relação ao HCM 2010. Nos trechos 1, 2, 3 e 5 o HCM 2022 apresentou resultados melhores em todos os sentidos dos quatro trechos, indicando um Nível de Serviço melhor em comparação com o software de 2010. Em porcentagem pode-se concluir que o HCM 2022 apresentou em 80% dos casos uma melhor condição de nível de serviço estimado em comparação ao NS estimado pela versão mais antiga. Somente no trecho 4, os resultados foram iguais, nos dois sentidos da rodovia, portanto não houve nenhuma diferença de resultado no que se trata em relação ao NS.

Ao considerar que o gatilho de ampliação nas rodovias foi o Nível de Serviço D, conforme os resultados do HCM 2022, em 2 trechos não foi necessário realizar a ampliação da rodovia de imediato (trecho 1 e 2), ou seja, em 40% das amostras poderiam ter sido reprogramado/postergado o investimento em ampliação de capacidade da rodovia. Nos trechos 3 e 5, apesar de fornecerem um NS melhor também no HCM 2022, ainda era necessário a ampliação, pois atingem ou ultrapassam o gatilho para ampliação.

A partir de uma consulta ao site do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), na seção de Custos Referenciais, determinou-se que o custo de ampliação para uma rodovia é de R\$ 10.713.000,00 por quilômetro. Com base nessa informação, foi possível elaborar a Tabela 8, que apresenta duas hipóteses sobre o custo de ampliação para a BR381, considerando o NS D como critério de gatilho. Calculou-se o custo por quilômetro e multiplicou-se pela extensão de cada trecho para estimar o valor total gasto na ampliação de cada trecho, caso o nível de serviço fosse D ou inferior. A primeira hipótese utiliza os resultados

do HCM 2010 como referência, enquanto a segunda hipótese considera os resultados do HCM 2022.

Tabela 8 – Custo de ampliação a partir dos resultados de cada edição do HCM.

Trecho	Sentido	Extensão do trecho (km)	HCM 2010		HCM 2022	
			Ano Base	Obras de ampliação de capacidade	Ano Base	Obras de ampliação de capacidade
1	Crescente	8,7	D	R\$ 93.203.100,00	C	Não requeridas
	Decrescente		D		C	
2	Crescente	39,4	D	R\$ 422.092.200,00	C	
	Decrescente		D		C	
3	Crescente	25,8	E	R\$ 276.395.400,00	D	R\$ 276.395.400,00
	Decrescente		E		D	
4	Crescente	14,84	E	R\$ 158.980.920,00	E	R\$ 158.980.920,00
	Decrescente		E		E	
5	Crescente	15,7	F	R\$ 145.268.280,00	E	R\$ 145.268.280,00
	Decrescente		E		D	

Fonte: Autores, 2024.

Em relação aos custos, a Tabela 9 representa as duas hipóteses, ao qual evidencia os custos totais representadas pela adoção de cada software.

Tabela 9 – Custo total da ampliação quando se adota cada versão do software.

Custo total de ampliação considerando cada versão do software	
HCM 2010	HCM 2024
R\$ 1.095.939.900,00	R\$ 580.644.600,00

Fonte: Autores, 2024.

Desse modo, observa-se que ao adotar o HCM 2022 como padrão para o cálculo do NS segundo os 5 trechos em estudos, será economizado um total de R\$ 515.295.300,00 em relação à versão mais antiga. Isso representa uma redução de cerca de 50% do custo total.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

O presente estudo reforça, portanto, a importância do incentivo contínuo a pesquisa em relação à adaptação dos modelos de cálculo de nível de serviço, como o HCM, adaptados as condições do Brasil. A adoção do HCM 2022 como padrão para o cálculo do NS trouxe um grande impacto se comparado com os resultados adotando a metodologia estabelecida no HCM 2010.

Essa simples mudança de metodologia de referência para o cálculo de Nível de Serviço, especialmente naqueles que utilizaram o NS como gatilho para ampliações de capacidade, possui o poder de reduzir em até quase pela metade os custos de uma concessão. Tal redução de custos poderia ter influenciado significativamente os contratos de concessão de rodovias, como nas tarifas de pedágio, que deveriam apresentar valores mais acessíveis para todos os usuários.



Portanto, conclui-se aponta para uma maior aderência da nova versão do HCM2022 com a realidade brasileira. Logo, torna-se recomendada uma revisão completa dos cálculos de NS em contratos vigentes e futuros, utilizando a nova metodologia do HCM 2022, para proporcionar uma melhor adequação das obras previstas às reais necessidades das rodovias, evitando intervenções desnecessárias ou tardias.

Para futuros trabalhos, sugere-se aprofundar os estudos sobre a calibração dos parâmetros do HCM 2022 especificamente para o contexto brasileiro, considerando a diversidade de características das rodovias nacionais. Além disso, é importante avaliar o impacto dessa nova metodologia em diferentes cenários, incluindo rodovias de pista dupla e vias urbanas, para expandir o entendimento sobre suas implicações práticas e econômicas.

Realizar o cálculo de valores reais, utilizando as metodologias fornecidas pelo HCM 2010 e 2022 seria de extrema importância também, para ser possível uma comparação entre os resultados dos softwares e dos valores reais e analisar qual se aproxima mais da realidade, dentro das características presentes no Brasil.



6. REFERÊNCIAS:

ANTT. **Programa de exploração rodoviária. Agência nacional de transportes terrestres.** Anexo III edital de concessão 005/2007. Brasília. (2007).

Confederação Nacional do Transporte. **Somente 12,4% da malha rodoviária brasileira é pavimentada.** Brasília – DF. 2018. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/somente-12-da-malha-rodoviaria-brasileira-pavimentada>. Acesso em 29 de ago. de 2024.

DE OLIVEIRA, Juliangelo Kayo Sangi et al. **Adaptação do HCM-6 para análise de rodovias de pista simples sem faixas adicionais no Brasil.** 2021.

EGAMI, Cintia Yumiko. **Adaptação do HCM-2000 para determinação do nível de serviço em rodovias de pista simples sem faixas adicionais no Brasil.** 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

JÚNIOR, José Elievam Bessa et al. **MÉTODO PARA CÁLCULO DO NÍVEL DE SERVIÇO EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES: DESENVOLVIMENTO A PARTIR DE DADOS DA RODOVIA BR-040.** Agência Nacional de Transportes Terrestres. 2019.

MARTÍN, Lisel Expósito. **Proposta metodológica para modelagem microscópica de interseções semaforizadas multimodais.** 2018.

PAULA, Francisco Suliano Mesquita. **Proposta de adaptação da metodologia do Highway Capacity Manual 2000 para análise de vias arteriais urbanas em Fortaleza.** 2006.

SANTOS, Igor Vieira et al. **Análise de intervenções para adequação do nível de serviço em rodovias de pista simples com base no HCM.** 2022.

SETTI, J.R., J.E. BESSA JR., C.Y. EGAMI e M.L.MON-MA (2011). Adaptação do HCM2000 para análise e da capacidade e do nível de serviço em rodovias de pista simples no Brasil. Transportes, v.19, n. 2, p. 66-78. DOI: 10.14295/transportes.v19i2.510.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Highway Capacity Manual 7th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis.** Washington, 2022. <https://doi.org/10.17226/26432>.

DNIT. **Manual de Estudos de Tráfego.** Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes, Rio de Janeiro, RJ. (2006)