



26° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

MACROSSIMULAÇÃO PARA OBTENÇÃO DE ESTIMATIVA DE VMDA NA MALHA RODOVIÁRIA DE MINAS GERAIS

Anna Bárbara Fonseca Duarte¹; Thais Berger Barbosa da Silva¹; Bruna Cristina Beltrão Silva Beilegoli¹

RESUMO

O artigo busca oferecer uma visão abrangente e diagnóstica da situação atual das rodovias em Minas Gerais, com o objetivo de fornecer informações estratégicas para apoiar o desenvolvimento, implementação e avaliação de políticas públicas relacionadas à rede de transporte rodoviário. O trabalho aponta para a implantação de novas metodologias, bem como a melhoria das já existentes, de modo a aprimorar as rotinas de Gestão dos Ativos Rodoviários no Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais. Através do *software* de modelagem de tráfego, denominado *TransCAD*, foi elaborado um método para analisar e estimar a previsão de demanda de tráfego nas rodovias pavimentadas e não-pavimentadas da malha rodoviária estadual. O trabalho foi dividido em duas etapas principais: a primeira considerando uma simulação e modelagem que contempla todo Brasil e os países fronteiros e a segunda levou em conta o método da subárea, que basicamente é um recorte dos segmentos rodoviários para o estado de Minas Gerais. Para a estimativa do volume médio diário (VMD) na primeira etapa, foi utilizado na geração da matriz de Origem-Destino, cerca de 500 postos com dados de tráfego, agrupados nas categorias de veículos leves e pesados. Após a geração e validação da matriz de viagens no âmbito nacional, foi obtido o recorte da matriz da subárea, que apresentou 853 centroides internos e 108 centroides externos. Os resultados preliminares foram satisfatórios, já que o trabalho foi um piloto desenvolvido para subsidiar decisões na esfera do planejamento estratégico da Gerência de Ativos Rodoviários.

PALAVRAS-CHAVE: Macrossimulação; *TransCAD*; Transporte, Tráfego; VMD.

ABSTRACT

The article seeks to offer a comprehensive and diagnostic view of the current situation of roads in Minas Gerais, aiming to provide strategic information to support the development, implementation and evaluation of public policies related to the road transportation network. The article proposes new approaches, as well as the improvement of existing ones, for enhancing every activity of the Road Asset Management in the Department of Highways of the State of Minas Gerais. Using traffic modeling software *TransCAD*, a method was developed to assess and estimating traffic demand forecasts on the state's paved and unpaved roads. The study was divided into two major stages: the first explored simulation and modeling on which covers the whole of Brazil and the bordering countries, while the second considered the sub-area method, which is basically a cross-section of road segments for the state of Minas Gerais. To estimate the average daily volume (AADT) in the first stage, around 500 stations with traffic data were used to generate the Origin-Destination matrix, grouped into light and heavy vehicle categories. After generating and validating the national travel matrix, the sub-area matrix was cut out, showing 853 internal centroids and 108 external centroids. The preliminary results were satisfactory, since the work was a pilot project designed to support decisions in the strategic planning sphere of the Road Asset Management.

KEY WORDS: Macro-traffic simulation; *TransCAD*; Transportation, Traffic, AADT.

¹ Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais - DER-MG, e-mail: anna.barbara@der.mg.gov.br; thais.berger@der.mg.gov.br; bruna.beilegoli@der.mg.gov.br.



INTRODUÇÃO

O setor de transporte está diretamente vinculado ao progresso de uma nação, proporcionando acessibilidade e mobilidade entre pessoas e mercadorias, evidenciando o seu grau de importância na economia (COLAVITE; KONISHI, 2015). Nesse cenário, fez-se necessário garantir conforto, segurança e fluidez para os usuários das rodovias, por meio de uma série de investimentos em implantação, manutenção e conservação de todo o sistema rodoviário.

Na matriz de transporte brasileira, o transporte rodoviário atualmente participa com 65% do deslocamento das cargas e 95% dos passageiros no país, de acordo com os dados da última pesquisa da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2023), o que demonstra que a economia brasileira é bastante dependente desse modo de transporte.

De acordo com os dados do Sistema Nacional de Viação (SNV), a malha brasileira se estende por 1,7 milhão de quilômetros de rodovias, sendo 12,4% pavimentadas (cerca de 213,5 mil quilômetros). As vias não pavimentadas, possuem considerável extensão, totalizando cerca de 1,4 milhão de quilômetros (78,5% da malha).

O cenário das rodovias sob jurisdição do estado de Minas Gerais apresenta cerca de 80,3% de vias pavimentadas e 19,7% de vias não pavimentadas, de um total de 28.144 quilômetros, de acordo com último levantamento de cadastro da malha do Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais, que incluiu também, a contagem volumétrica e classificatória em mais de 1.000 postos para avaliação do tráfego e hierarquização da rede. (DER-MG 2022/2023).

Vale destacar a relevância da rede rodoviária do estado no contexto nacional, pois promove interação direta com 6 estados da federação, compondo as principais rotas entre o Sudeste e Centro-Oeste, além das rotas do Sul ao Nordeste. Assim, surge a necessidade de quantificar o volume médio diário (VMD) em todo o Sistema Rodoviário Estadual (SRE), além de sua respectiva distribuição veicular. Contudo, é um trabalho oneroso e moroso, principalmente devido à extensão e as características da malha rodoviária de Minas Gerais. Nesse contexto, o artigo tem como principal objetivo descrever as etapas do Projeto Piloto da Gerência de Gestão de Ativos Rodoviários, que visam simular e estimar, para cada SRE, o respectivo VMD.

Este projeto encontra-se diretamente ligada às recomendações da Diretoria de Planejamento Engenharia e Inovação pertencente ao DER-MG, quanto a centralização e o tratamento dos dados técnicos e gerenciais sobre os ativos rodoviários, e o estabelecimento de macro diretrizes para planejamento da gestão da malha e o fomento da criação de políticas inovadoras.

A ferramenta utilizada para este Projeto Piloto foi o *software* de Macrossimulação *TransCAD*. O *TransCAD* é um *software* amplamente utilizado para análise de transporte e planejamento, oferecendo ferramentas para modelagem e simulação de redes de transporte, análise de tráfego e previsão de demanda. Suas principais características e funções incluem: ferramentas de mapeamento e visualização, sendo o único software que combina completamente GIS com recursos para modelagem de demanda e logística. (ALMASRI; AL-JAZZAR, 2013).



MÉTODO

Tendo em vista a demanda por um planejamento eficiente do sistema de transporte rodoviário, e objetivando a priorização de investimentos em Minas Gerais, foi realizada nos anos de 2022 e 2023, a campanha de contagem volumétrica e classificatória em cerca de 1.000 postos, visando a avaliação do tráfego e a hierarquização da rede nas rodovias do estado.

Considerando a indisponibilidade do volume de tráfego para todos os trechos viários, a literatura científica propõe a estimativa dessa variável a partir de interpoladores espaciais.

Este estudo de caso utilizou técnicas para a construção da macrossimulação, que é um modelo de tráfego consolidado, onde é possível obter um modelo cujo comportamento se assemelhe à realidade observada em campo.

Coleta e Tratamento dos Dados

Para a construção do modelo de tráfego macroscópico, foram coletadas as informações referentes à situação atual do sistema rodoviário em estudo, principalmente em relação às características de demanda, ou seja, quantidade de veículos nas principais rodovias e acessos, além dos aspectos relativos aos fluxos de viagem (municípios de origem e destino).

Foram fornecidos pelo Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (DNIT, 2023) os dados da última versão adotada na estimativa de *VMDa* de toda a rede rodoviária federal pavimentada com ano-base de 2022. Em conformidade com os objetivos deste estudo, o DNIT (2023) destaca que utiliza dessa estimativa de volume de tráfego para avaliar o planejamento estratégico a fim de subsidiar as análises de engenharia conceitual e funcional.

A rede rodoviária vetorizada de posse do DNIT contém a representação das rodovias por meio de *links* (ligações), além de conectores que fazem a lição entre os centroides (origens e destinos das viagens) e as rodovias e os vértices/nós que representam pontos de conexão entre os arcos/arestas e/ou centroides, como apresentado na Figura 1.

A rede digital de simulação viária é composta por um conjunto de informações georreferenciadas como dados de relevo, velocidade, sinuosidade, capacidade, condição do pavimento, tipo de pista (dupla, simples), tipo de pavimento (asfaltado, não pavimentado), dentre outras.

A versão principal utilizada do SNV foi a 202301B (primeira versão oficial publicada no ano de 2023). A rede utilizada para a estimativa do *VMDa* 2022 apresenta cerca de 23.100 *links*, sendo 17.478 *links* rodoviários (federais, estaduais e municipais) e 5.622 conectores. Além disso, a modelagem contou com 5.576 centroides (municípios brasileiros e países limítrofes) que representam as zonas de tráfego funcionando como polo de produção e atração de viagens.

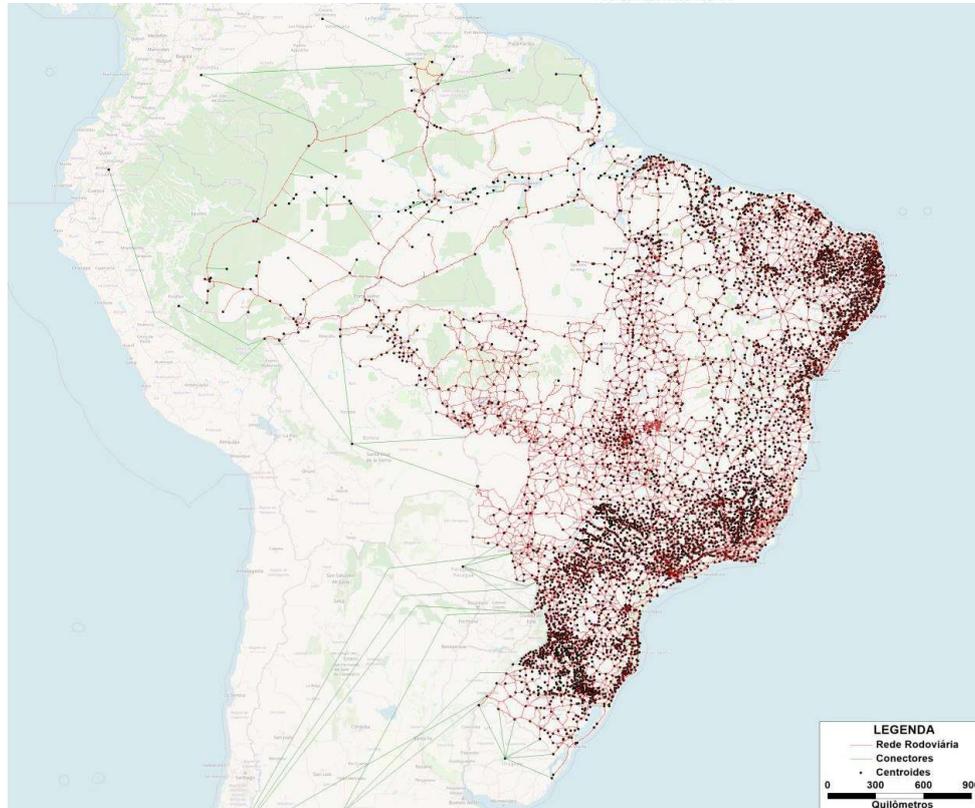


Figura 1. Rede rodoviária da modelagem do DNIT (DNIT, 2023)

Em relação ao zoneamento, no estudo do DNIT considerou-se como zona de tráfego todos os municípios brasileiros e os países limítrofes, como Uruguai, Paraguai, Peru, Suriname e Venezuela. Além dos arquivos de rede georreferenciados, foi fornecida a matriz final estimada e calibrada para o ano de 2022. Para construção da matriz, o DNIT adotou cerca de 765 postos referenciais (*Counts Location - CL*), pontos de controle que permitem realizar comparações entre os volumes reais observados em campo e os estimados na modelagem. Os *counts* auxiliam na calibração e nos ajustes do modelo de alocação de fluxo em rede. Os dados de tráfego dos *counts* foram agrupados em categorias de veículos segregadas dentre: Leves, composta por carros de passeio (automóveis, camionetas, motos, vans e kombis); e pesados, composta por ônibus e caminhões.

Foram analisados, ainda, os resultados obtidos das Contagens Volumétricas Classificadoras (CVC), oriundas do Programa Estadual de Contagem de Tráfego (PECT) dos anos 2022 e 2023 do DER-MG. Ao todo, o PECT contou com quase 1 mil postos de contagem, sendo 740 de seção e 219 de interseção espalhados por toda a malha rodoviária estadual, conforme Figura 2.

Os postos foram monitorados durante 24 horas em dias considerados típicos, ou seja, dias de semana sem feriado, variando entre 1, 3 ou 7 dias. Os dados de campo foram ajustados considerando o ajuste de sazonalidade semanal e mensal conforme fatores adotados pelo DER-MG.

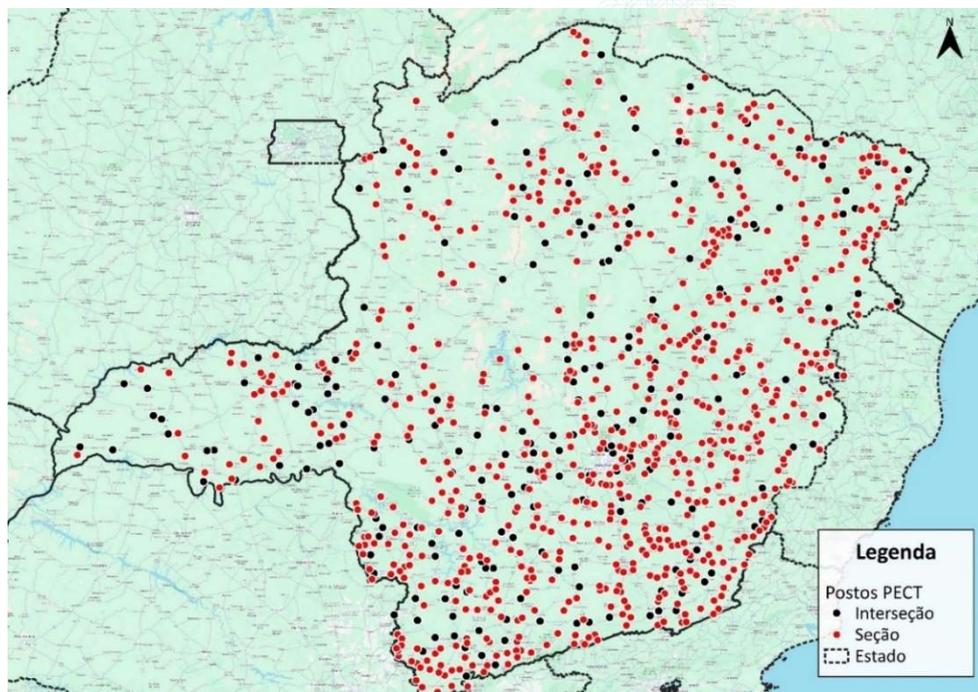


Figura 2. Postos de contagem do PECT (OS AUTORES, 2024)

Além dos dados de tráfego, também foi utilizada a rede rodoviária georreferenciada do Sistema Rodoviário Estadual (SRE) — ano base 2024 — que apresenta diversas características do trecho como extensão, tipo de pista e revestimento (Figura 3). Esses dados são essenciais para a caracterização das vias na modelagem pois influenciam diretamente no cálculo dos custos operacionais e outras informações como a capacidade, tempo de viagem e parâmetros da função de atraso.

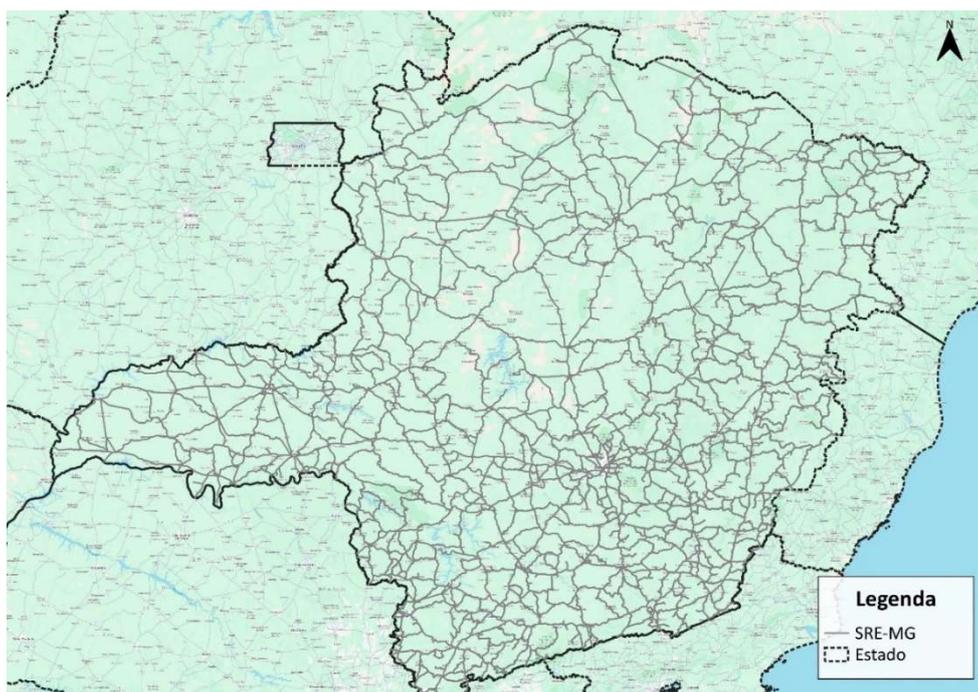


Figura 3. Sistema Rodoviário Estadual (SRE) de Minas Gerais (OS AUTORES, 2024)



Construção do modelo de simulação

Para o desenvolvimento do modelo de simulação, foi escolhido o *software* TransCAD 5.0 devido à facilidade de compatibilização e adaptação entre as diversas fontes de dados. Segundo a Caliper (2024), o TransCAD une recursos de modelagem de transporte e GIS (*Geographic Information System*) ou *SIG* (Sistemas de Informação Geográfica) em uma única plataforma. Além disso, o *software* é compatível com os estilos de modelagem de viagens mais utilizados, incluindo métodos de planejamento e modelos de demanda de quatro etapas, além de modelar fluxos de passageiros e de carga em nível estadual, nacional e internacional.

Após a compatibilização das diferentes fontes de dados, foi realizada a projeção do tráfego aferido durante o PECT para o ano de 2024, uma vez que as contagens foram realizadas entre 2022 e 2023. Devido à falta de informações para cálculo da taxa de crescimento dos postos de *count*, adotou-se uma taxa de crescimento anual de 3%, próxima da taxa de crescimento econômico do país como um todo, conforme recomendações do Manual de Estudos de Tráfego (DNIT; 2006).

Em seguida, foi possível relacionar os postos com os *links* da rede rodoviária e o resumo dos *counts* utilizados, por tipo (seção e interseção) e dias pesquisados, conforme pode ser visto na Tabela 1. Ao todo, na primeira etapa do estudo foram inseridos 417 *counts*, sendo 13 de interseção e 404 de seção.

Tabela 1. Count locations utilizados na modelagem (OS AUTORES, 2024)

Tipo	Duração da pesquisa	Quantidade
Interseção	1 dia	13
Seção	1 dia	344
	3 dias	24
	7 dias	36
Total geral		417

Cabe destacar que apenas parte dos postos de interseção foi inserida até o momento, visando maior controle dos dados de tráfego das vias que fazem parte dos entroncamentos. A Figura 4 apresenta os *counts locations*, provenientes da projeção de tráfego do PECT, inseridos na primeira etapa da modelagem macroscópica.

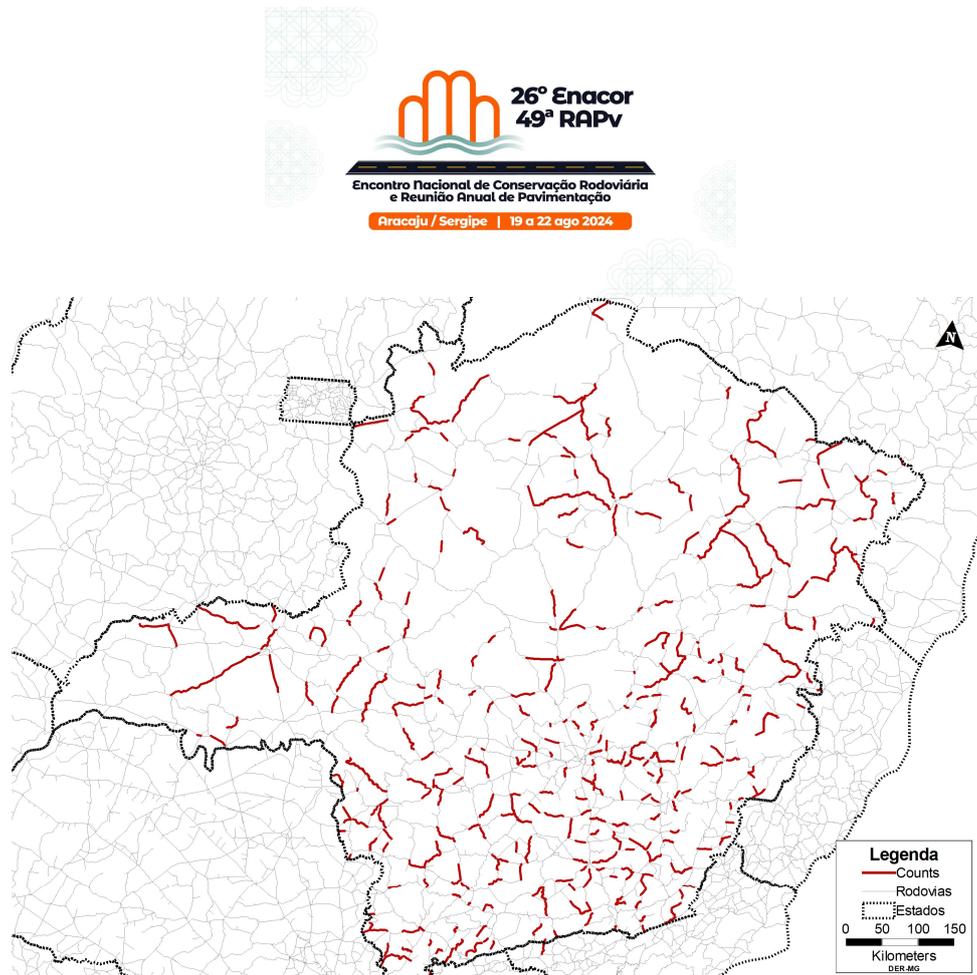


Figura 4. Representação dos *count locations* (OS AUTORES, 2024)

Após a etapa de ajuste e posicionamento dos *counts*, foi necessário construir uma matriz origem-destino (OD) que fosse representativa dos fluxos de tráfego de Minas Gerais. Em função da inexistência de pesquisas OD que caracterizassem o estado em sua totalidade e devido aos altos custos e tempo para promover uma campanha desse tipo de pesquisa, foi necessário estimar a matriz OD a ser alocada no modelo. Esse método é embasado no estudo de Pereira (2018), cujo objetivo foi encontrar uma matriz que satisfaça o tráfego observado nas vias por meio dos postos de controle (*Counts Locations*).

De posse de uma matriz OD semente (DNIT, 2023) e das contagens de tráfegos observadas em campo, foi possível gerar um cenário base para que a alocação de tráfego possa ser executada. O processo de alocação do tráfego e de calibração do modelo corresponde ao ajuste da rede rodoviária simulada a fim de torná-la representativa da realidade verificada em campo. Assim, as rotas determinadas para os diferentes pares OD passam a corresponder aos caminhos escolhidos pelos motoristas.

Após a primeira alocação, foi possível verificar a aderência e compatibilização do modelo. Esse processo é iterativo e é executado até que a convergência seja obtida, visando uma simulação satisfatória.

Para as alocações realizadas nesta etapa, buscou-se utilizar dos mesmos parâmetros do estudo do DNIT (2023), uma vez que o método utilizado pelo órgão já é consolidado em âmbito nacional. Os atributos dos *links*, tais como custo generalizado, capacidade diária e horária, tipo de pista, parâmetros da função de atraso (BPR), extensão e tempo de percurso dos *links*, foram mantidos conforme última atualização (VMDa 2022).

Em resumo, o processo de alocação de tráfego e estimativa de matriz OD adotou os seguintes parâmetros:

- i. Método de alocação de tráfego: *User Equilibrium* – são métodos que buscam a resolução do primeiro princípio de Wardrop (1952), que postula que o equilíbrio é atingido a partir do



- momento em que nenhum usuário conseguirá um menor custo de viagem ao alterar sua rota, sendo que as rotas são escolhidas de forma determinística;
- ii. Função de degradação de velocidade: *Bureau of Public Roads* (BPR) – parâmetros específicos α e β de ajuste de crescimento da função de atraso: 0,15 e 4, respectivamente;
 - iii. Fator de equivalência veicular: *Passenger Car Equivalent* (PCE) – adotado por classe utilizada, trata-se do impacto relativo de diferentes classes veiculares no tráfego em unidades de carro de passeio (UCP), sendo 1,0 para veículos Leves e 2,5 para Pesados;
 - iv. Valor do Tempo (VOT) de viagem para as categorias: 20 para veículos Leves e 40 para veículos Pesados;
 - v. Quantidade de iterações dos processos de alocação de tráfego e de ajustes/adequações nas Matrizes OD: 500 e 20, respectivamente.

O valor do tempo de viagem é definido como a predisposição que um indivíduo tem de pagar pela redução em uma unidade de seu tempo de viagem. Nesse sentido, cabe destacar que o processo para obter o VOT das classes envolve tratamento proveniente da pesquisa de Preferência Declarada (PD). Essas pesquisas são utilizadas frequentemente por planejadores de transportes para prever o impacto na demanda de viagens.

Devido à onerosidade da execução e tratamento desses dados, buscou-se na literatura e em projetos antigos valores de VOT base, tanto na esfera nacional quanto na estadual. No estudo desenvolvido por Brito e Strambi (2007), foi estimado o valor de R\$16,44/h para o tempo de viagem de até 90 minutos de duração e R\$14,62/h para viagens com duração entre 91 minutos e 4 horas.

Após as etapas descritas, foi realizado um ajuste da alocação por meio do método denominado “Estimação da Matriz OD” (*Origin-Destination Matrix Estimation* - ODME) que buscou, a partir da matriz semente fornecida e de contagens em pontos de controle (CL), distribuir o tráfego de maneira que a rede de simulação represente o tráfego real de Minas Gerais. A ODME gerou um arquivo de matriz contendo os fluxos OD estimados por tipo (Leves e Pesados).

Posteriormente à geração da matriz, foi preciso validar os dados provenientes do *TransCAD* com o objetivo de comparar o resultado do volume estimado (alocado) com o volume observado (contado). Para tanto, foi utilizado um dos métodos mais aplicados para validação da modelagem macroscópica, o modelo da função estatística formulada pelo *Geoffrey E. Havens* (GEH). Essa equação foi desenvolvida empiricamente para a validação de dados de simulação de tráfego, em que cada validação é feita individualmente para cada par de dados simulado-observado. A Equação 1 apresenta a fórmula utilizada neste método, na qual o q_{simulado} se refere ao volume simulado na rede e o $q_{\text{observado}}$ representa o volume de tráfego contado em campo.

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \cdot (q_{\text{simulado}} - q_{\text{observado}})^2}{(q_{\text{simulado}} + q_{\text{observado}})}} \quad (\text{Equação 1})$$

De acordo com Vilarinho (2008), um valor de GEH menor que 5 para 85% dos casos de uma seção é um valor aceitável. Para a soma de todas as seções o valor do GEH deverá ser inferior a 4. Ou seja, quando a classe da função GEH for menor que 5, o resultado é aceitável e indica boa adesão do método quando comparado aos dados de campo.

Além da GEH, utilizou-se o método do coeficiente de determinação conhecido por r^2 , que basicamente computa o ajuste de um modelo linear generalizado, comparando também os volumes alocados e os volumes observados em campo. O r^2 varia de 0 até 1, sendo que quanto mais próximo de 1, melhor é o ajuste do modelo.



Assim, a partir do ajuste da matriz estimada para o Brasil, foi possível dar prosseguimento aos procedimentos de estimativa de VMD na malha rodoviária estadual mineira.

O primeiro passo foi reduzir a área de estudo focando apenas nos *links* rodoviários que passam por Minas Gerais e nas vias de ligação com os estados lindeiros, por meio de uma *sub-área*. De acordo com a Caliper (2024), ao prever a demanda de transporte para uma região o usuário pode realizar um estudo mais detalhado do tráfego dentro de uma subárea.

A subárea definida neste trabalho foi delimitada em cerca de 100 metros externos à área do estado de Minas Gerais, conforme mostra a Figura 5.

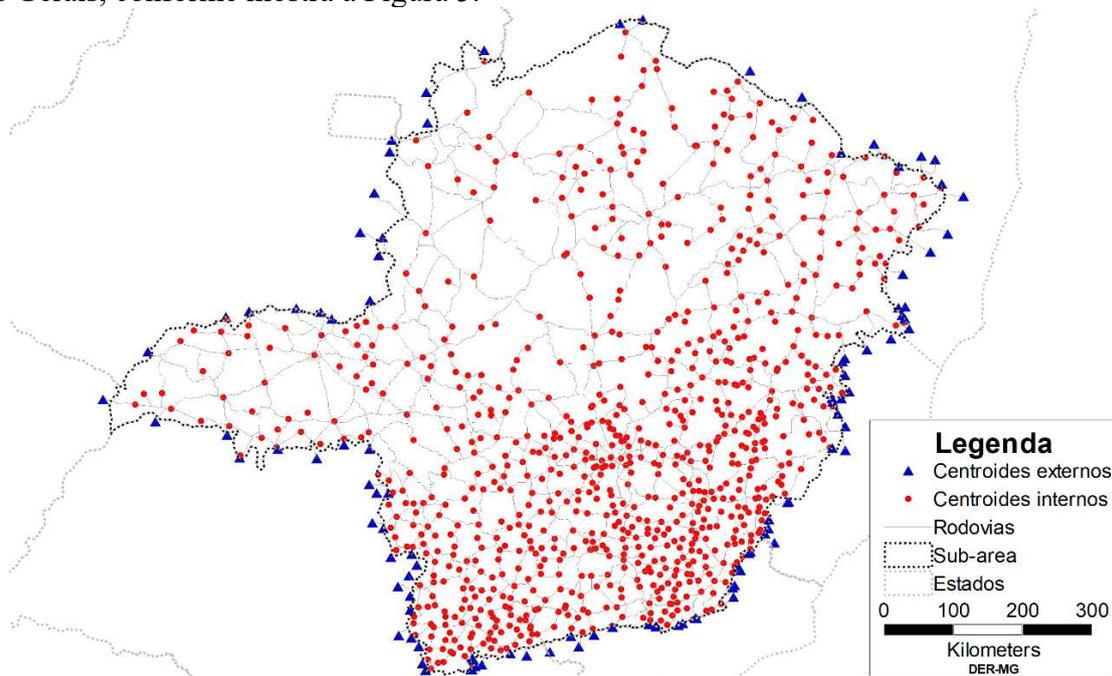


Figura 5. Área utilizada na subárea (OS AUTORES, 2024)

A partir da criação da subárea, foi possível gerar a matriz de viagens O-D considerando os centroides externos e internos. Os centroides internos são todos aqueles que representam municípios mineiros e os centroides externos são aqueles que se conectam aos *links* localizados na divisa de Minas Gerais com outros estados.

A matriz de viagem gerada considerou viagens que tiveram:

- i. origem e destino em centroides externos, mas que atravessam segmentos de rede da subárea;
- ii. origem em um centroide externo e destino em um centroide interno;
- iii. origem em um centroide interno e destino em um centroide externo;
- iv. origem e destino em um centroide interno da subárea.

Próximas etapas do método

Para as próximas etapas do trabalho, será realizado um ajuste dos *links* e centroides considerando a rede rodoviária do SRE-MG de 2024, visto que a rede estadual conta com maior número de *links*, os traçados representam melhor a sinuosidade das vias e as rodovias estão mais detalhadas no nível municipal.



Além dos ajustes de rede, será estimado um modelo para calcular os custos de deslocamento dos segmentos da rede. Para isso, serão considerados as seguintes variáveis: características de pista, extensão do *link*, perfil geométrico, valor do pedágio, relevo, valor da gasolina e as condições do pavimento. A finalidade dessa etapa será obter os tempos de viagem e os custos operacionais para as diferentes categorias de veículo simuladas.

Os parâmetros de rede também serão atualizados, tendo em vista as características regionais mais recentes como a situação do pavimento (Bom, Regular, Ruim e Péssimo), Rise&fall e curvatura, e parâmetros da função BPR, denominados *Alpha* e *Beta*.

Assim, com todos os processos finalizados, serão realizadas simulações da matriz gerada com base na subárea para toda a rede rodoviária do estado presente no SRE-MG 2024. A validação da matriz final alocada será feita a partir do método apresentado anteriormente.

RESULTADOS

Os resultados apresentados nesta seção se referem aos processos executados até o recorte da rede em uma subárea. Importante destacar, que para melhor alocação de tráfego nas rodovias, foi considerada uma série de cenários, variando os dados de entrada, localização dos *counts* e alterando os parâmetros de simulação.

Conforme apresentado no método, cada um dos cenários foi avaliado e analisado usando o teste estatístico denominado *GEH*, comparando os resultados estimados com os dados de tráfego reais. O *GEH* é uma variação do clássico teste estatístico Chi-Quadrado que incorpora tanto o erro absoluto como o erro relativo.

O primeiro resultado do trabalho foi a obtenção da matriz estimada de tráfego considerando todos os estados brasileiros e países da fronteira, dando importância para os 417 *counts* de Minas Gerais, oriundos do PECT. O processo iterativo para obter essa matriz foi concluído com um r^2 de 0,76 e um y de 0,67. Os resultados *GEH* indicou maior aderência do modelo na categoria de veículos denominados Pesados, com 67% dos *counts* nas classes “A” e “B” do modelo estatístico. Já para a categoria denominada Leves, cerca de 49% dos *counts* apresentaram volumes alocados na classe “A” e “B”.

Desataca-se que apenas 2% do total de *links* que compõem a rede (23.100) não tiveram nenhum volume alocado, sendo a maior parte desses segmentos acessos rodoviários para pequenos distritos. Considerando a malha rodoviária mineira, o modelo atribuiu tráfego para cerca de 2,9 mil segmentos, apenas 8 *links* não apresentaram tráfego alocado.

Durante o processo de calibração do modelo, foram encontrados alguns desafios a serem resolvidos nas próximas etapas do trabalho. Alguns postos com tráfego observado estão localizados em vias cuja principal troca de viagens se dá entre municípios de grande população e distritos. Todavia, como os distritos não foram considerados no zoneamento, o tráfego alocado tende a ser menor do que a realidade observada em campo e, nesse caso, o zoneamento deve ser repensado.

Mas apesar dos desafios, foi possível obter o mapa de carregamento da Figura 6 que considera a soma das duas categorias alocadas (Leves e Pesados).

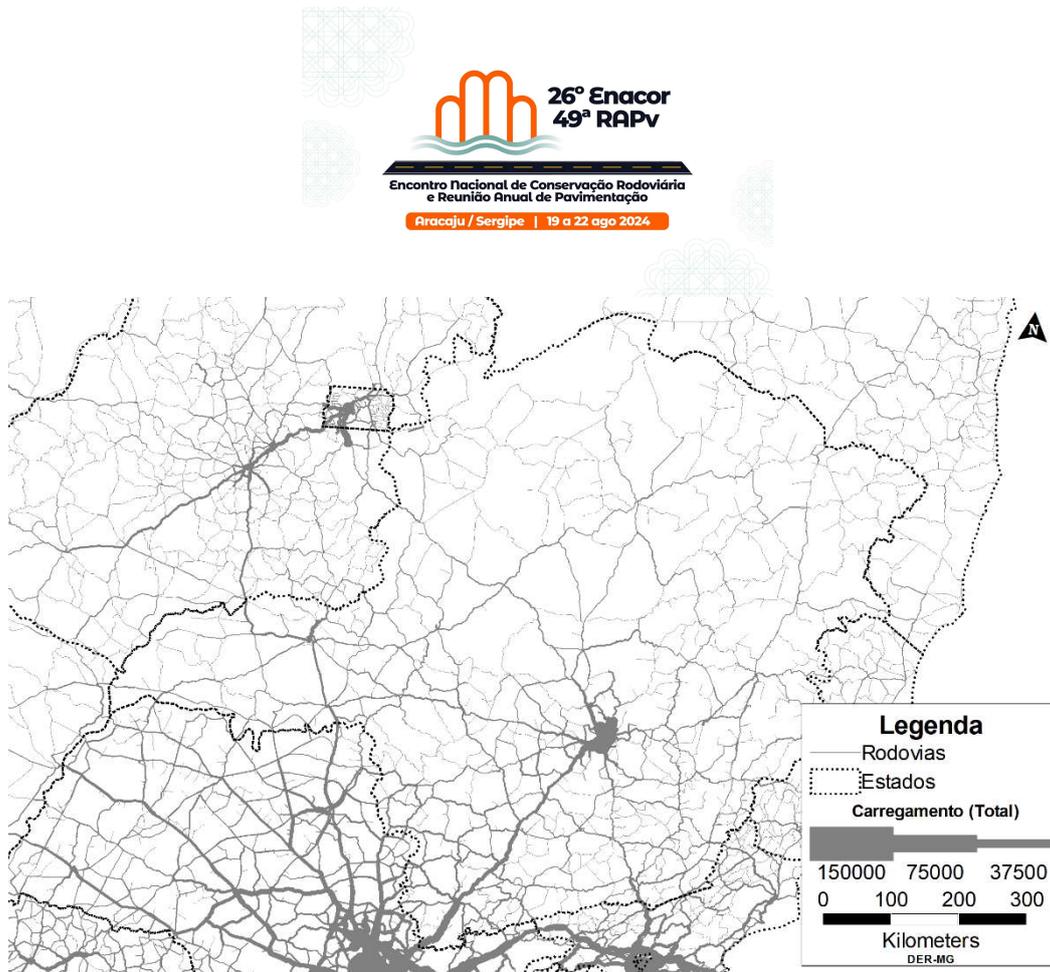


Figura 6. Mapa de carregamento total da matriz estimada – Brasil (OS AUTORES, 2024)

A definição e construção da subárea foi satisfatória, selecionando apenas os *links* rodoviários da área de interesse e os segmentos adjacentes. Ao todo, a subárea foi gerada com 3.172 *links*, sendo 3.059 internos e 113 os segmentos de atravessamento (externos). Além dos *links*, os centroides internos selecionados foram 853, número que corresponde ao total de municípios mineiros. Já a seleção dos centroides externos, que fazem parte da malha rodoviária dos estados limítrofes, contou com 108 itens.

CONCLUSÃO

Em um primeiro momento, os resultados alcançados são satisfatórios e correspondem às expectativas iniciais, considerando que o trabalho foi um Piloto da Gerência Gestão de Ativos Rodoviários do DER-MG, apresentando-se como uma inovação dentro do órgão com o uso do *software* e da metodologia de alocação de tráfego.

Nesta primeira etapa da modelagem macroscópica, cerca de 50% dos postos de contagem do PECT foram utilizados como *count* e apresentaram bons resultados. Ainda há disponível uma quantidade significativa de postos que serão acrescentados para melhorar a alocação de tráfego do modelo na segunda etapa da modelagem.

Durante as simulações notou-se que o parâmetro *PCE* (*Passenger Car Equivalent*) de 2,5 para a categoria de veículos pesados demonstrou melhor ajuste entre o volume contado e alocado no modelo, quando comparado com os resultados das simulações com *PCE* de 2,0.

O modelo apresentou bons resultados em relação à distribuição de tráfego para os segmentos de rede correspondentes aos SREs de Minas Gerais, visto que menos de 0,1% dos *links* pertencentes ao estado mineiro não tiveram tráfego atribuído. Além disso, foi possível identificar as principais interações com os outros estados da federação por meio das rodovias BR-381, BR-116, BR-040, BR-050 e BR-365.



Destaca-se também que a simulação desenvolvida neste trabalho incluiu os *links* rodoviários não pavimentados. Esses segmentos são de extrema importância pois muitas vezes estão entre trechos pavimentados e podem compor uma rota a ser priorizada para investimentos.

Por fim, é importante salientar que os resultados são voltados para análises na esfera do planejamento estratégico e assim será possível definir as prioridades de investimentos nas avaliações preliminares de engenharia e nos estudos rodoviários da Diretoria de Planejamento, Engenharia e Inovação do DER-MG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMASRI, Essam & AL-JAZZAR, Mohammed. (2013). **TransCAD and GIS Technique for Estimating Traffic Demand and Its Application in Gaza City**. Open Journal of Civil Engineering. 03. 242-250. 10.4236/ojce.2013.34029.
- BRITO, André & STRAMBI, Orlando. (2009). **Análise de características relacionadas à variação do valor do tempo de viagem de motoristas usando técnicas de preferência declarada**. TRANSPORTES. 15. 10.14295/transportes.v15i1.47.
- CALIPER. TransCAD User's Guide. Caliper Corporation, Newton, MA, 2024. Disponível em: <https://www.caliper.com/tcovu.htm>. Acesso em: 18 mar. 2024
- COLAVITE, Alessandro Serrano & KONISHI, Fábio. **A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade**. (2015). 12 f. TCC – Gestão e Tecnologia, FATEC, Rio de Janeiro, 2015.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). **Pesquisa CNT de rodovias 2023**: Relatório Gerencial. Brasília, 2023.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT Nº 01/2023**: síntese da metodologia para estimativa do volume médio diário anual – **VMDa** 2022 em toda a malha rodoviária federal pavimentada. Brasília, 18 de ago. 2023. DNIT, 2023. Disponível em: https://servicos.dnit.gov.br/dadospnt/Modelagem/NT_2023_VMDA2022.pdf. Acesso em: 4 mar. 2024.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Estudos de Tráfego**. Rio de Janeiro, 15 de ago. 2006. DNIT, 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/723_manual_estudos_trafego.pdf. Acesso em: 15 abr. 2022.
- PEREIRA, Henrique de Medeiros. **Sistema de suporte à decisão para priorização de investimentos em rodovias utilizando inteligência geográfica**. (2018). Tese (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2018.
- VILARINHO, Cristina Alexandra Teixeira. **Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas**. (2008). Tese (Mestrado em engenharia civil – especialização em vias de comunicação) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2008.
- WARDROP, J. G. "Some theoretical aspects of road traffic research" **Proceedings of the Institute of Civil Engineers: Engineering Divisions**, volume 1. London: Thomas Telford: 325–362, 1952.