

ESTUDO DE TRÁFEGO E PROJEÇÃO DA DEMANDA

ÍNDICE

1.	Introdução	3
2.	Contextualização.....	6
3.	Levantamento de Dados	8
3.1.	Dados disponíveis de posse da Consultora	9
3.2.	Dados secundários	9
3.2.1.	Contagens Volumétricas Classificadas (CVC)	10
3.2.2.	Pesquisas de Origem-Destino (OD).....	11
4.	Modelo de Simulação.....	12
4.1.	Caracterização da Rede de Simulação.....	13
4.2.	Custos no Modelo de Simulação	13
4.2.1.	Valor do Tempo	15
4.3.	Segmentação de Classe.....	15
4.4.	Matriz de Viagens	16
4.4.1.	Eliminação de Contagens Duplas	18
4.5.	Zonas de Tráfego	19
4.6.	Calibração do Modelo	25
4.6.1.	Tempos de Viagem na RMBH	26
4.6.2.	Calibração da Função de Atraso	27
4.6.3.	Validação do Modelo	27
5.	Cenários de Simulação	31
5.1.	Definição de premissas.....	33
6.	Demanda Potencial.....	35
6.1.	Perfil de viagens	37
6.1.1.	Viagens de Atravessamento.....	38
6.1.2.	Linhas de desejo	39
7.	Crescimento Vegetativo	46
7.1.	Elasticidade	46
7.1.1.	Crescimento	47
7.1.2.	Recuperação	49
7.1.3.	Benchmarking	51
7.2.	Projeção PIB.....	51
8.	Variação da Tarifa Base.....	55
9.	Projeção de tráfego e receita	56
10.	Análise de capacidade	62
10.1.	Rodovias <i>Freeway</i>	62
10.2.	Divisão dos Trechos Homogêneos	64
10.3.	Cenário 01	1

10.4. Cenário 02	1
10.5. Cenário 03	1
11. Cálculo do número N.....	2
11.1. Projeção do Volume Médio Diário Anual (VMDA)	2
11.1.1. Cenário 01	2
11.1.2. Cenário 02.....	4
11.1.3. Cenário 03.....	5
11.2. Classificação e Carregamento da Frota	6
11.3. Cálculo dos Fatores Médios de Veículo Aplicados neste Projeto	8
11.3.1. Cenário 01	9
11.3.2. Cenário 02.....	10
11.3.3. Cenário 03.....	11
11.4. Percentual do tráfego na faixa mais carregada	13
11.5. Cálculo do Número N.....	13
11.5.1. Cálculo Número N para o TH mais carregado	14
11.5.2. Número N acumulado.....	18
12. Conclusões	24
13. Bibliografia	26
Anexo I	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Traçado Final.....	4
Figura 2: Traçado do rodoanel da RMBH.....	8
Figura 3: Rede rodoviária de simulação elaborada pela Consultora	12
Figura 4: Localização dos Pontos de pesquisa	17
Figura 5: Eliminação das contagens duplas.....	19
Figura 6: Mapa de calor dos deslocamentos de automoveis nos municípios	20
Figura 7: Mapa de calor dos deslocamentos de caminhões leves nos municípios	20
Figura 8: Mapa de calor dos deslocamentos de caminhões pesados nos municípios	21
Figura 9: zoneamento adotado no estudo.....	22
Figura 10: Zonas de Tráfego em Minas Gerais.....	22
Figura 11: Área de influência de automóveis	23
Figura 12: área de influência de caminhões leves	23
Figura 13: Área de influência de caminhões pesados.....	24
Figura 14: Centroides nas zonas de tráfego	25
Figura 15: Calibração da função de atraso	27
Figura 16: Localização das Alterações previstas	33
Figura 17: Zonas internas ao Rodoanel.....	38
Figura 18: Linhas de desejo de automóveis – sem restrição (01A)	39
Figura 19: Linhas de desejo de automóveis na RMBH – sem restrição (01A)	40
Figura 20: Linhas de desejo para caminhões leves – sem restrição (01A).....	40
Figura 21: Linhas de desejo de caminhões leves na RMBH – sem restrição (01A).....	41
Figura 22: linhas de desejo para caminhões pesados – sem restrição (01A).....	41
Figura 23: Linhas de desejo de caminhões pesados na RMBH – sem restrição (01A).....	42
Figura 24: Linhas de Desejo para automóveis - com Restrição (02A).....	42
Figura 25: Linhas de desejo para automóves na RMBH – com restrição (02A).....	43
Figura 26: linhas de desejo para caminhões leves - com restrição (02A).....	43
Figura 27: Linhas de desejo para caminhões leves na RMBH – com restrição (02A) ..	44
Figura 28: Linhas de desejo para caminhões pesados - com restrição (02A)	44
Figura 29: Linhas de desejo para caminhões pesados na RMBH – com restrição (02A)	45
Figura 30: Relação fluxo-velocidade para rodovias Freeway	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de relevo, tipo de pista, tipo e condição do pavimento.....	14
Tabela 2: Custos Fixos e Variáveis.....	14
Tabela 3: Valores subjetivos da economia do tempo de viagem (VOT)	15
Tabela 4: Critérios de segmentação de automóveis	16
Tabela 5: Critérios de segmentação de caminhões	16
Tabela 6: Informações Utilizadas	17
Tabela 7: Unidades espaciais adotadas no Zoneamento.....	21
Tabela 8: GEH.....	29
Tabela 9: Cenários de Simulação	32
Tabela 10: Alterações previstas consideradas como premissas	33
Tabela 11: Vítimas de acidentes no Anel Rodoviário de Belo Horizonte	36
Tabela 12: Cenários – Demanda Potencial.....	36
Tabela 13: Composição do tráfego	37
Tabela 14: Viagens de atravessamento – Zonas Internas	39
Tabela 15: Viagens de Atravessamento – Belo Horizonte	39
Tabela 16: Elasticidade PIB brasil X Índice ABCR	46
Tabela 17: Elasticidade PIB brasil X Índice ABCR – Período de crescimento	48
Tabela 18: Elasticidade PIB brasil X Índice ABCR – Período de Crise.....	49
Tabela 19: Elasticidade PIB brasil X Índice ABCR – Período de recuperação	51
Tabela 20: Elasticidades adotadas em outros estudos	51
Tabela 21: Cenários PIB.....	52
Tabela 22: Projeções – Cenário 1	53
Tabela 23: Projeções – Cenário 2.....	53
Tabela 24: Projeções – Cenário 3.....	54
Tabela 25: Projeção da Demanda.....	56
Tabela 26: Descontos por tipo de usuário.....	57
Tabela 27: Receita Estimada	58
Tabela 28: Parâmetros do Nível de Serviço	63
Tabela 29: Trechos Homogêneos.....	64
Tabela 30: NS do cenário 01 sem obras de ampliação da capacidade	1
Tabela 31: NS do cenário 01 com obras de ampliação da capacidade	Error! Bookmark not defined.
Tabela 32: VDMA no th5 quando atinge o gatilho no cenário 01..	Error! Bookmark not defined.
Tabela 33: NO do cenário 02 sem obras de ampliação da capacidade.....	1
Tabela 34: NS do cenário 02 com obras de ampliação da capacidade	Error! Bookmark not defined.
Tabela 35: VDMA no th5 quando atinge o gatilho no Cenário 02.	Error! Bookmark not defined.
Tabela 36: NS do cenário 03 sem obras de ampliação da capacidade	1
Tabela 37: NS do cenário 03 com obras de ampliação da capacidade	Error! Bookmark not defined.
Tabela 38: VDMA no TH5 quando atinge o gatilho no Cenário 03	Error! Bookmark not defined.
Tabela 39: Projecao do VMDA por segmento - Norte	2
Tabela 40: Projecao do VMDA por segmento - Oeste.....	3
Tabela 41: Projecao do VMDA por segmento – Norte.....	4
Tabela 42: Projecao do VMDA por segmento – oeste.....	4
Tabela 43: Projecao do VMDA por segmento – Sudoeste	4
Cenário Tabela 44: Projecao do VMDA por segmento – Norte	5
Tabela 45: Projecao do VMDA por segmento – oeste.....	5

Tabela 46: Projecao do VMDA por segmento – Sudoeste	5
Tabela 47: Projeco do VMDA por segmento – Sul	6
Tabela 48: Divisão dos veículos em classe/tipo definida pelo DNIT	6
Tabela 49: Definição da distribuição do carregamento por eixo de veículo	7
Tabela 50: Fatores de carga por eixo	7
Tabela 51: Fatores de veículo FV	8
Tabela 52: Fator de Veículo - Norte	9
Tabela 53: Fator de Veículo - Oeste	9
Tabela 54: Fator de Veículo - Norte	10
Tabela 55: Fator de Veículo - Oeste	10
Tabela 56: Fator de Veículo - SudOeste	11
Tabela 57: Fator de Veículo - Norte	11
Tabela 58: Fator de Veículo - Oeste	12
Tabela 59: Fator de Veículo - SudOeste	12
Tabela 60: Fator de Veículo - SuL	13
Tabela 61: Carregamento na faixa de projeto	13
Tabela 62: Cálculo Número N (th mais carregado) – Norte	14
Tabela 63: Cálculo Número N (th mais carregado) – Oeste	15
Tabela 64: Cálculo Número N (th mais carregado) - Norte	15
Tabela 65: Cálculo Número N (th mais CARREGADO) - Oeste	16
Tabela 66: Cálculo Número N (th mais CARREGADO) - Sudoeste	16
Tabela 67: Cálculo Número N (th mais carregado) - Norte	17
Tabela 68: Cálculo Número N (th mais CARREGADO) - Oeste	17
Tabela 69: Cálculo Número N (th mais CARREGADO) – Sudoeste	18
Tabela 70: Cálculo Número N (th mais CARREGADO) - Sul	18
Tabela 71: resultado Número N por th - método Usace – Norte	19
Tabela 72: resultado Número N por th - método AASHTO – Norte	19
Tabela 73: resultado Número N por th - método Usace – Oeste	19
Tabela 74: resultado Número N por th - método AASHTO – Oeste	20
Tabela 71: resultado Número N por th - método Usace – Norte	20
Tabela 72: resultado Número N por th - método AASHTO – Norte	20
Tabela 73: resultado Número N por th - método Usace – Oeste	21
Tabela 74: resultado Número N por th - método AASHTO – Oeste	21
Tabela 79: resultado Número N por th - método Usace – Sudoeste	21
Tabela 80: resultado Número N por th - método AASHTO – Sudoeste	21
Tabela 81: resultado Número N por th - método Usace – Norte	22
Tabela 82: resultado Número N por th - método AASHTO – Norte	22
Tabela 83: resultado Número N por th - método Usace – Oeste	22
Tabela 84: resultado Número N por th - método AASHTO – Oeste	22
Tabela 85: resultado Número N por th - método Usace – Sudoeste	23
Tabela 86: resultado Número N por th - método AASHTO – Sudoeste	23
Tabela 87: resultado Número N por th - método Usace – Sul	23
Tabela 88: resultado Número N por th - método AASHTO – Sul	23
Tabela 89: Inauguração das alças do rodoanel e os respectivos cenários	24
Tabela 90: Índice ABCR – Brasil	27

1. Introdução

Este documento descreve a metodologia utilizada e apresenta os resultados finais do estudo de tráfego para a estimativa de demanda do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), a partir de simulações realizadas com ajustes de traçado após o primeiro período de Consulta Pública do Processo, elaborado dentro do âmbito do **Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte**, em desenvolvimento pela Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade do Governo do Estado de Minas Gerais, em parceria com o Movimento Brasil Competitivo e a Accenture.

Nele estão compilados dois produtos previstos em contrato: 2.2.1 Estudo de Tráfego e 2.2.2 Projeção de Demanda. Os dois estão apresentados em documento único, pela complementariedade dos temas.

Na versão inicial do Estudo de Tráfego e Projeção da demanda, usou-se como premissa os resultados do Relatório de Análise de Pré-Viabilidade, produto também desenvolvido dentro do contexto do Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da RMBH. Ou seja, partiu-se de uma alternativa de traçado pré-selecionada com base em estudos anteriores, e com base nesse traçado base, foram realizadas as primeiras estimativas de demanda do Rodoanel da RMBH, avaliando cenários com diferentes modelos de pedagiamento e restrições de tráfego no Anel Rodoviário de Belo Horizonte.

Na versão do Estudo de Tráfego e Projeção da Demanda apresentada para a Primeira Fase de Consulta Pública, buscou-se quantificar a demanda de tráfego no Rodoanel da RMBH e a receita para o período de concessão, considerando:

- O traçado definido no projeto básico de engenharia, também desenvolvido dentro do contexto do Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da RMBH;
- O modelo de pedagiamento free-flow e uma tarifa base de R\$ 0,35 por quilômetro.

Durante o período da 1ª Consulta Pública foram apresentadas ao Governo do Estado de Minas Gerais traçados alternativos para as alças Oeste, Sudoeste e Sul projetados. Visando atender as solicitações endereçadas ao Governo do Estado de Minas Gerais, novos estudos complementares das propostas foram realizados. Assim, foram analisados os impactos com relação a demanda das alternativas e das combinações entre elas, considerando as mesmas premissas do estudo de demanda apresentados anteriormente. Após a análises dos resultados, a diretriz de traçado foi alterada em termos da Alça Sul, conforme documentação divulgada durante a 2ª Consulta Pública.

Destaca-se que, para definição do traçado final do projeto do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte (Figura 1) foi considerado não apenas os resultados de demanda e receita, mas também de outros fatores que impactam o projeto, como, por exemplo, custos de construção e manutenção, desapropriação e impactos ambientais.

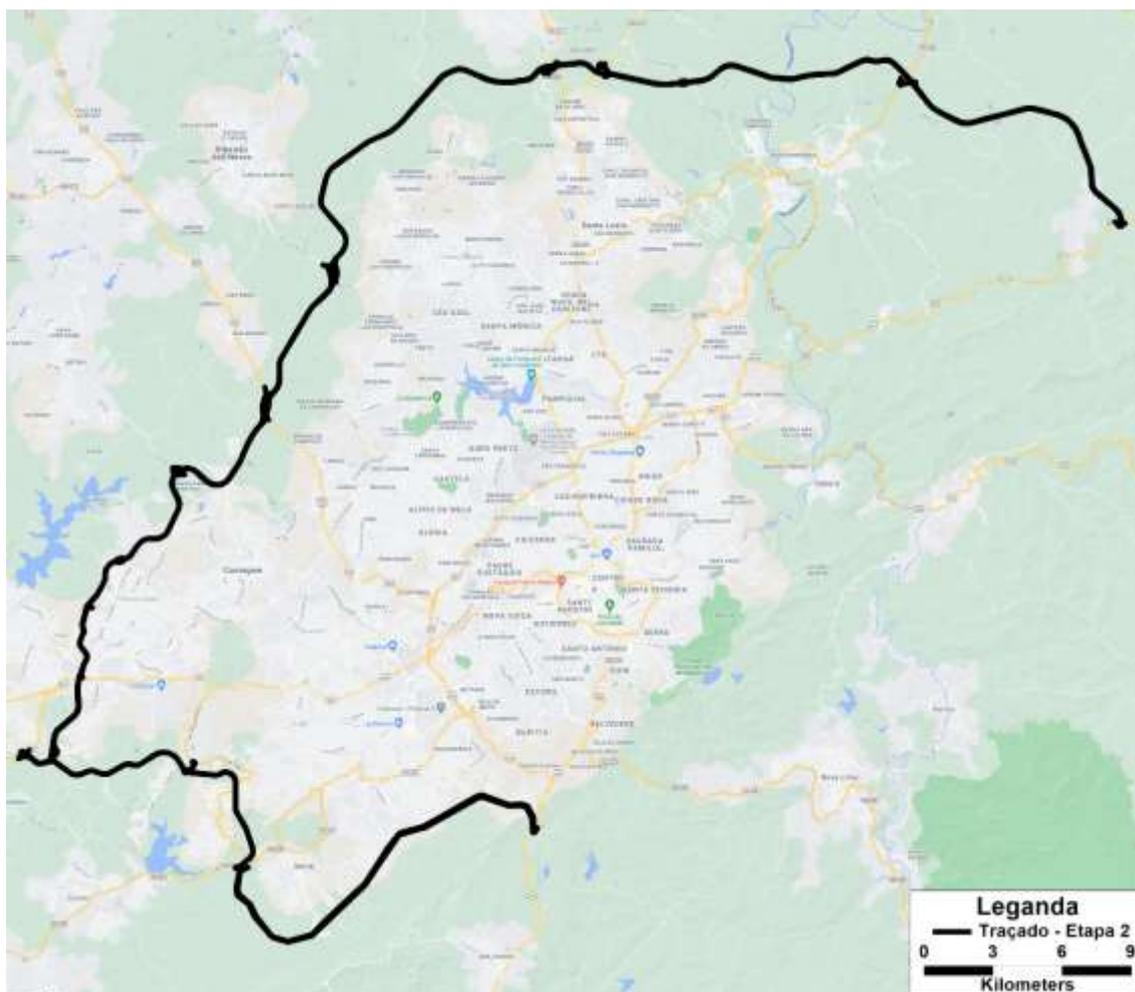


FIGURA 1: TRAÇADO FINAL

Com base no exposto, esse documento consolida o Estudo de Tráfego e de Projeção da Demanda do Rodoanel para a Região Metropolitana de Belo Horizonte para o traçado indicado na Figura 1. O documento está organizado em treze (13) capítulos e um (1) anexo:

- Capítulo 1 - Introdução;
- Capítulo 2 - Contextualização;
- Capítulo 3 - Levantamento de Dados;
- Capítulo 4 - Modelo de Simulação
- Capítulo 5 - Simulação de Cenários;
- Capítulo 6 - Demanda Potencial;
- Capítulo 7 - Crescimento Vegetativo;
- Capítulo 8 - Variação Tarifa Base;
- Capítulo 9 - Projeção de Tráfego e Receita;
- Capítulo 10 - Análise de Capacidade;
- Capítulo 11 - Cálculo do Número N
- Capítulo 12 - Conclusões;

- Capítulo 13 - Bibliografía
- Anexo I - Índice ABCR

2. Contextualização

O Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte é um projeto estruturante para a região, e vem sendo discutido e analisado há mais de 20 anos. Em 2000, a empresa de consultoria Contécnica, através do contrato PD/6-0031/99-0 firmado com Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), elaborou o projeto básico de engenharia do trecho de aproximadamente 65 quilômetros entre o Contorno de Betim até as proximidades do distrito de Ravena, localizado no município de Sabará. Desde então, diversos projetos e estudos, tanto para a Alça Sul, quanto para a Alça Norte já foram desenvolvidos. Esses estudos e projetos foram apresentados e utilizados como insumo do Relatório de Análise de Pré-Viabilidade, produto também desenvolvido dentro do contexto do Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da RMBH.

A disposição da malha rodoviária implantada no estado de Minas Gerais, principalmente dos corredores federais BR-381, BR-040 e BR-262, que possuem altos volumes de tráfego, concentra na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) muitas viagens interestaduais de atravessamento.

Além disso, o crescimento dos municípios vizinhos a capital e a expansão da mancha urbana da RMBH contribuem para o aumento do tráfego, requerendo novas soluções de transporte que facilitem os deslocamentos pela mancha urbana e o desenvolvimento econômico local.

O atual Anel Rodoviário de Belo Horizonte, encontra-se inserido na mancha urbana de tal maneira que é utilizado não somente pelo tráfego rodoviário, mas também (e de forma significativa) por veículos em deslocamentos urbanos. Por isso, a via de trânsito rápido já se encontra operando próxima da capacidade durante os horários de pico de tráfego, apresentando congestionamentos em diferentes trechos diariamente. O número de acidentes também é elevado no Anel Rodoviário de Belo Horizonte, com o envolvimento de veículos leves e pesados, agravando a situação da segurança na via.

Nesse sentido, a construção do Rodoanel da RMBH, de maior extensão que circunde a Grande Belo Horizonte, é de extrema importância. Com características de rodovia de trânsito rápido com acessos limitados e em desnível, ele teria por objetivo principal retirar parte dos veículos, principalmente de carga, que trafegam atualmente pelo Anel Rodoviário e pela área urbana da capital mineira.

Uma questão importante a ser levantada seria a necessidade de implantação de um corredor de BRT para atendimento ao transporte coletivo público por ônibus. Entretanto, cabe destacar que o objetivo do Rodoanel da RMBH é atrair o tráfego de atravessamento da região, liberando as vias urbanas e o Anel Rodoviário de BH para o tráfego urbano. Além disso, o transporte coletivo da RMBH apresenta uma demanda radial, com origem/destino em Belo Horizonte. Assim, sem uma análise específica sobre o tema, a implantação de um corredor para transporte coletivo metropolitano no Rodoanel:

- Está contra aos objetivos do projeto de atrair o tráfego de atravessamento (principalmente de veículos pesados) para o Rodoanel, liberando as vias urbanas para os deslocamentos diários da população local;

- Não atende as linhas de desejo da população (sentido radial), e penalizaria o tempo de deslocamento dos usuários de transporte coletivo, obrigando a realização de percursos negativos nas viagens.
- Aumentaria excessivamente o CAPEX do projeto, uma vez que seria necessário implantar pelo menos 1 faixa de tráfego por sentido, tornando inviável economicamente o mesmo.

3. Levantamento de Dados

O Rodoanel da RMBH é um importante projeto do Governo do Estado de Minas Gerais que prevê a implantação de um novo contorno rodoviário na região. O projeto prevê a implantação de uma nova infraestrutura rodoviária estruturante que será uma alternativa ao fluxo que atualmente utiliza o anel viário de Belo Horizonte e as vias urbanas da capital para deslocamentos de longa distância.

O traçado em estudo está indicado na Figura 2, e está sendo dividido em 4 alças, sendo:

- Alça Norte: trecho entre a BR-381 no distrito de Ravena (Sabará/MG) e a LMG-806;
- Alça Oeste: trecho entre a LMG-806 e a BR-262 em Betim/MG;
- Alça Sudoeste: trecho entre BR-262 em Betim/MG até a MG-040;
- Alça Sul: trecho entre MG-040 e BR040.



FIGURA 2: TRAÇADO DO RODOANEL DA RMBH

Para captar o fluxo de veículos, considerou-se a área de influência da via para efeito de detecção de rotas alternativas e outras expectativas quanto ao possível usuário. Por se tratar de uma via a ser implantada, foi necessária também uma modelagem da rede atual de modo a permitir captar a demanda passível de ser desviada de seu percurso atual, passando a usar esta nova via. Em paralelo, foi quantificada a demanda adicional atraída por esta nova oferta viária, totalizando o conjunto de usuários previstos em diversos cenários. Dessa forma, entre outras características, foram avaliadas as viagens

nas vias do entorno, os trajetos realizados e o comportamento dos usuários. Assim, tornou-se possível avaliar as viagens que serão atraídas pela nova via, os trajetos realizados no momento para atendê-las e o comportamento dos usuários que poderão utilizar o novo trajeto.

Na etapa de levantamento de dados, buscou-se recolher informações de uma base secundária vasta de estudos e projetos desenvolvidos anteriormente, procurando compor uma visão sistêmica dos dados imprescindíveis à realização desse tipo de estudo. O intuito foi caracterizar detalhadamente a infraestrutura da malha viária no entorno do Rodoanel da RMBH e conhecer a dinâmica dos fluxos de tráfego na região.

Entretanto, a realização de pesquisas no campo, face à pandemia do COVID-19 declarada em 11 de março de 2020 pela Organização Mundial da Saúde, não pode ser realizada visto as grandes alterações no comportamento do usuário, seja em volume de veículos seja nas rotas escolhidas. Os resultados comporiam uma base de dados enviesada que poderia direcionar erroneamente os projetos.

Como forma de conter o avanço do contágio, foram adotadas medidas de isolamento social nas cidades brasileiras. Muitas empresas adotaram *home office*, serviços não essenciais foram temporariamente fechados ou funcionaram em horários reduzidos.

Além das dificuldades geradas para possíveis levantamentos de campo, como exposição das equipes ao risco de contágio, dados de pesquisas realizadas nesse período estariam influenciados por padrões e fluxos de deslocamento não usuais e que, provavelmente, não irão prolongar-se além da pandemia do COVID-19. Portanto, optou-se por trabalhar com dados confiáveis disponíveis e com data base do estudo em 2019.

Com a retomada das atividades e da mobilidade no Brasil em 2021, em reuniões com o poder público foi definido que pesquisas complementares ao estudo seriam realizadas a partir de julho de 2021. Os dados brutos dessas pesquisas serão disponibilizados publicamente.

3.1. Dados disponíveis de posse da Consultora

Alguns dados de posse da Consultora foram aproveitados neste estudo, tais como sua rede viária georreferenciada, cadastros viários realizados próximos à região em estudo e demais informações pré-existentes relativas à infraestrutura viária existente na região.

3.2. Dados secundários

Foram utilizadas informações relevantes ao estudo disponíveis em fontes oficiais do Governo do Estado de Minas Gerais e órgãos federais, tais como:

- Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade do Estado de Minas Gerais – SEINFRA;
- Departamento de Edificações e Estrada de Rodagem de Minas Gerais – DER/MG;
- Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte - ADRMBH;
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT.

Os principais estudos e dados utilizados foram:

- **Pesquisa de Origem e Destino da RMBH:** realizada em 2012 por meio de entrevistas domiciliares, em terminais de transporte (rodoviária, aeroportos e terminal ferroviário) e na linha de contorno da RMBH, pela Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (ADRMHBH);
- **Pesquisa de Origem e Destino de Cargas da RMBH:** realizada no ano de 2017, pela Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (ADRMHBH);
- **Relatório de Pesquisa de Tráfego (Produto 3.1) e Relatório de Estudos de Tráfego (Produto 4.1) para o Lote 56:** desenvolvidos pela empresa PROSUL – Projetos, Supervisão e Planejamento LTDA dentro do contrato “Serviços Técnicos e Desenvolvimento de estudos para o planejamento da infraestrutura de transportes sob competência do DNIT” em 2018 para o DNIT;
- **Documentos do Procedimento de Manifestação de Interesse – PMI, Nº 03/2012: visando à obtenção de estudos, levantamentos e propostas para implantação, pavimentação, operação, manutenção, conservação e melhoramentos do Contorno Metropolitano Norte de Belo Horizonte - CMNBH,** publicado em 30 de agosto de 2012 pelo Governo do Estado de Minas Gerais, incluindo a Manifestação de Interesse e a proposta de implantação do Contorno Metropolitano Norte de Belo Horizonte (CMNBH) das empresas Odebrecht Transport Participações S/A e Construtora Norberto Odebrecht S/A – Odebrecht Infraestrutura;
- **Dados da Pesquisa Nacional de Tráfego (PNT)** de 2017 do DNIT;
- **Dados das Concessionárias:** fluxo de veículos das rodovias Autopista Fernão Dias, Concer, Concebra, Via 040 e MG 050;
- **Dados dos radares do DER/MG** (fluxo de veículos em 2017 e 2019).

3.2.1. Contagens Volumétricas Classificadas (CVC)

Em estudos de tráfego, as Contagens Volumétricas Classificadas (CVCs) visam 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.

Dessa forma, para a adequação do modelo aos volumes de tráfego atuais é imprescindível o uso de dados de contagens em locais específicos que permitam quantificar o tráfego na região de estudo.

Para a realização desse estudo, como indicado anteriormente, não foram realizadas Contagens Volumétricas Classificadas (CVC) específicas, foram utilizados dados contidos em estudos anteriores, radares, praças de pedágio, PNT, entre outros.

Estes dados foram analisados e os pontos considerados relevantes para a realização do estudo foram consolidados em um banco de dados, com tratamento e compatibilização adequados para permitir seu uso.

Após esse procedimento inicial, foi realizado o ajuste sazonal das CVCs para o cálculo do Volume Diário Médio Anual (VDMA) de cada posto de contagem, tendo como base séries históricas da Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR) e também os dados disponibilizados pelas Concessionárias.

No Anexo I são apresentados os índices ABCR, a nível Brasil, para os anos de 1999 a 2019.

3.2.2. Pesquisas de Origem-Destino (OD)

As Pesquisas de Origem-Destino de veículos visam identificar a distribuição espacial da demanda e de seus respectivos fluxos de veículos na região da rodovia em estudo, bem como caracterizar o perfil de seus usuários. Diversas informações são objeto de levantamento durante as entrevistas, como: local de origem e destino das viagens; motivo da viagem; frequência da viagem; tipos de carga transportada, entre outros.

Devido às restrições que ocorreram em função da pandemia do COVID-19, detalhadas no item 2.1, não foi possível realizar novas pesquisas de Origem-Destino. Dessa forma, foram usadas as seguintes bases de informação:

- Resultados da OD da Pesquisa Nacional de Tráfego do DNIT de 2017;
- Dados da Pesquisa OD realizada para a elaboração da Manifestação de Interesse e a proposta de implantação do Contorno Metropolitano Norte de Belo Horizonte (CMNBH) das empresas Odebrecht Transport Participações S/A e Construtora Norberto Odebrecht S/A – Odebrecht Infraestrutura de 2012;
- Dados da Pesquisa OD realizada pela PROSUL para o DNIT em 2018;
- Resultados da Pesquisa de Origem e Destino Domiciliar da RMBH de 2012;
- Resultados Pesquisa de Origem e Destino de Cargas da RMBH de 2017.

Os dados das distintas pesquisas foram analisados, tratados e compatibilizados em um banco de dados, permitindo a caracterização dos fluxos relevantes e a identificação da distribuição espacial dos fluxos de veículos nas rodovias da região.

4. Modelo de Simulação

Os procedimentos de modelagem da rede e de alocação do tráfego foram suportados pelo *software* TransCAD. Essa ferramenta computacional para o planejamento, gerenciamento e análise de redes e sistemas de transporte é acoplada a um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Portanto, permite uma combinação de competências para mapeamento digital, gestão de base de dados georreferenciados e apresentação gráfica, aliada a um modelo matemático de simulação e análise da demanda por transportes.

Para simulação do comportamento dos fluxos de tráfego na região do estudo, principalmente no que diz respeito à escolha da rota por um veículo, foi utilizada como base uma rede rodoviária georreferenciada (Figura 3).



FIGURA 3: REDE RODOVIÁRIA DE SIMULAÇÃO ELABORADA PELA CONSULTORA

Nos próximos itens, são descritas as etapas realizadas para a montagem do modelo, incluindo zoneamento de tráfego adotado, a atualização da rede de simulação e a construção da matriz de Origem e Destino.

4.1. Caracterização da Rede de Simulação

A rede digital de simulação viária é composta por um conjunto de informações georreferenciadas no *software* TransCAD. Trata-se de dados de relevo, velocidade, sinuosidade, capacidade, condição do pavimento, tipo de pista (dupla, simples), tipo de pavimento (asfalto, não pavimentado), rotas de fuga, entre outros. Todas essas informações da rede são divididas em *links*, que são agrupamentos de segmentos viários homogêneos quanto às características físicas e operacionais.

Destaca-se que a rede digital utilizada representa não somente as malhas viárias principais, mas também as vicinais, muitas vezes sem pavimentação e conhecidas apenas pelo usuário local, de forma a tornar as simulações de impactos de cenários futuros mais próximas da realidade.

A rede utilizada nesse estudo foi construída com base na rede digital da Consultora, com informações relativas à infraestrutura viária da região, atualizada na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) a partir de uma rede disponibilizada pela Agência Metropolitana. Os dados das redes foram compatibilizados e devidamente conferidos e atualizados, gerando uma rede única para simulação.

Na rede constam parâmetros como capacidade, velocidade, presença de travessia urbana, além de uma série de informações quanto às características das vias, das quais destacam-se:

- Relevo, caracterizado por uma combinação das características do alinhamento horizontal e vertical da rodovia, obtidos através do cadastro viário com o auxílio do GPS. É classificado de 1 a 7, sendo o relevo 1 completamente plano e retilíneo, e o relevo 7 severamente ondulado e sinuoso.
- Condição do pavimento, estratificada qualitativamente em bom (BOM), regular (REG), mau (MAU), péssimo (PES) e terminal (TER) em função do IRI².
- Tipo de pista, classificada como rodovia de pista dupla (DUP), rodovia de pista simples (SIM) rodovia de pista simples com terceira faixa (WID) ou ainda estradas não pavimentadas com apenas uma faixa (UNI).
- Tipo de revestimento, que pode consistir em asfalto (ASF), concreto (CON), não pavimentada com tratamento na sub-base e/ou base (IMP) ou estrada em leito natural (LEN).

4.2. Custos no Modelo de Simulação

Para a realização da alocação de tráfego, é necessária a determinação dos caminhos mínimos. Os caminhos mínimos definem a sequência de *links* que realizam a ligação entre as zonas de tráfego, considerando a minimização do “custo generalizado” incorrido pelas diferentes classes de veículos ao se deslocar entre centroides de origem e destino (pares OD).

Para tanto, para cada *link* da rede viária são estimados os custos generalizados percebidos por cada classe de veículo, a partir da seguinte equação matemática:

$$CG_v = (T_v \times CT_{vrrp}) + (D_{rrp} \times CD_{vrrp}) + CP_v$$

- CG_v = custo generalizado do veículo v ;

- T_v = tempo de percurso do trecho pelo veículo v ;
- CT_{vrrp} = parâmetro do custo operacional por unidade de tempo, para o veículo v percorrer um *link* da categoria rp (r = tipo de relevo e p = condição do pavimento);
- D_{rp} = extensão do link da categoria rp ;
- CD_{vrrp} = parâmetro do custo operacional por unidade de distância, para o veículo v percorrer o *link* da categoria rp ;
- CP_v = custo de pedágio do *link*, podendo ser “zero”, na ausência de pedágio, ou o valor da tarifa caso exista um posto de pedágio no *link*.

O parâmetro CD_{vrrp} corresponde aos custos variáveis (combustível, lubrificantes, manutenção, rodagem etc.), os quais se relacionam à distância percorrida, às características do relevo e à condição do pavimento. A Tabela 1 apresenta, de forma genérica, as opções passíveis de modelagem para cada variável de característica viária, totalizando 560 opções de classificação dos *links*.

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DE RELEVO, TIPO DE PISTA, TIPO E CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

Relevo	Tipo de Pista	Tipo de Pavimento	Condição do Pavimento
Em linha reta e em nível	Unidirecional	Leito Natural	Bom
Em linha reta e suavemente ondulada	Simplex	Implementada	Regular
Curvilíneo e geralmente em nível	Com Terceira Faixa	Asfalto	Mau
Curvas e suavemente ondulada	Dupla	Concreto	Péssimo
Curvas e severamente ondulada	-	-	Terminal
Sinuoso e suavemente ondulado	-	-	-
Sinuoso e severamente ondulado	-	-	-

As combinações desses parâmetros são inseridas na VOC – Vehicle Operating Costs, componente do submodelo RUE - *Road User Effects* do HDM-4 (*Highway Development and Management*) para cálculo dos custos operacionais correspondentes das diferentes categorias de veículo (automóveis e caminhões) em cada link da rede viária. A Tabela 2 sintetiza os itens considerados de custo fixo e variável.

TABELA 2: CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS

Fixos	Variáveis
Mão de obra	Combustível
Depreciação	Pneus
Custo de capital	Lubrificantes
Seguros	Peças de reposição
Impostos	Mão de obra de manutenção

Já o parâmetro CT_{vrrp} relaciona-se à percepção do valor do tempo de viagem, para os veículos de passeio. Para os veículos de carga, esse parâmetro corresponde aos custos fixos unitários por unidade de tempo (capital, depreciação, salário da tripulação etc.). Neste caso, quanto maior o tempo gasto em cada viagem, menor a produtividade do transportador.

4.2.1. Valor do Tempo

O valor atribuído à economia de tempo nos diferentes deslocamentos das pessoas pelo sistema viário encontra uma aplicação característica em estudos que incluem previsões de escolha modal ou de rotas alternativas. Contudo, trata-se de um parâmetro subjetivo, uma vez que varia de acordo com o local do estudo, renda do usuário, motivo da viagem, tempo de deslocamento total, entre outros.

Uma vez que Pesquisas de Preferência Declarada não puderam ser realizadas em vista das restrições de isolamento social impostas pela Pandemia do COVID-19, com o objetivo de representar o comportamento local dos usuários, foram adotados os mesmos valores aplicados na PMI para Concessão da Malha Rodoviária Estadual de Minas Gerais, realizado pela consultora, cujos valores estão descritos na Tabela 3.

TABELA 3: VALORES SUBJETIVOS DA ECONOMIA DO TEMPO DE VIAGEM (VOT)

Categoria	R\$/hora
Aut A	35
Aut B	25
Aut C	15
C2e	50
C3e	55
C5e	85
C7e	110

4.3. Segmentação de Classe

Os modelos de transporte buscam prever as viagens futuras com base em padrões comportamentais atuais de seus usuários. A partir das informações levantadas nas pesquisas de origem e destino, como a renda mensal do usuário, preço do veículo e número de eixos, é possível segmentar os usuários componentes da matriz de viagens. Essa segmentação permite representar os diferentes comportamentos de deslocamento, que podem interferir no critério de escolha da rota para cada viagem. Dessa forma, é possível obter maior sensibilidade nos custos de operação dos veículos na rede de simulação.

No presente estudo, foram consideradas sete classes de usuários, sendo três de automóveis e quatro de caminhões. Para a classificação dos veículos leves, foram utilizados a renda declarada pelo usuário na pesquisa Origem Destino ou o valor do veículo determinado pela tabela FIPE (Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas),

a partir do modelo e ano de fabricação do veículo. Classificou-se assim os automóveis nas categorias A, B e C, conforme apresentado na Tabela 4 .

TABELA 4: CRITÉRIOS DE SEGMENTAÇÃO DE AUTOMÓVEIS

Categoria	Renda	Valor do veículo
Aut A	mais de 5 Salários-Mínimos	>R\$40.000,00
Aut B	de 2 a 5 Salários-Mínimos	R\$20.000,00 a R\$40.000,00
Aut C	até 2 Salários-Mínimos	até R\$20.000,00

Quanto à classificação dos caminhões, foi considerada a informação de número de eixos e a propriedade do caminhão, com base nas pesquisas OD, totalizando quatro classes conforme mostra a Tabela 5.

TABELA 5: CRITÉRIOS DE SEGMENTAÇÃO DE CAMINHÕES

Categoria	Eixos
C2e	2
C3e	3 e 4
C5e	5 e 6
C7e	Maior ou igual a 7

4.4. Matriz de Viagens

O processo de construção da matriz de viagens utilizada no estudo considerou as Pesquisas de Origem e Destino e Contagens Classificadas de Veículos realizadas pelo DNIT, através da Pesquisa Nacional de Tráfego (PNT) nas rodovias federais entre os anos de 2016 e 2017 e do estudo do Lote 56 (Contorno Metropolitano) de 2018. Foram consideradas também pesquisas realizadas para a PMI do Contorno Metropolitano Norte da RMBH, em 2012, além das matrizes origem e destino de automóveis, provenientes da Pesquisa OD Domiciliar da RMBH (2012), e de cargas (2017), ambas disponibilizadas pela Agência de Desenvolvimento da RMBH.

Destaca-se que para a matriz de automóveis foram consideradas apenas pares com potencial de migração para o Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte, pois, conforme discorrido no item 4.1, a rede utilizada nesse estudo é uma rede simplificada e não conta com todas as vias locais da RMBH, tendo foco em vias rodoviárias. Portanto, utilizar a matriz de automóveis completa iria sobrecarregar a rede de simulação erroneamente. Sendo assim, os carregamentos das vias internas de RMBH devem ser analisados com cautela, visto que nem todas as viagens estão sendo consideradas na matriz.

A Tabela 6 sintetiza, para cada conjunto de dados utilizados, a fonte, tipo de informação disponibilizada e o ano de referência dos dados utilizados na montagem da matriz.

TABELA 6: INFORMAÇÕES UTILIZADAS

Fonte	Estudo	Informação	Ano
DNIT	Serviços Técnicos e Desenvolvimento de estudos para o planejamento da infraestrutura de transportes sob competência do DNIT – Lote 56	CVC	2018
DNIT	Pesquisa Nacional de Tráfego (PNT)	OD e CVC	2017/2016
SEINFRA	PMI do Contorno Metropolitano Norte da RMBH	OD e CVC	2012
ADRMBH	Matriz Origem Destino de Carga RMBH	Matriz	2017
ADRMBH	Pesquisa Origem Destino RMBH	Matriz	2012

A partir de um filtro dos dados disponibilizados, identificou-se os pontos de pesquisa mais relevantes, considerando a área de estudo e data de realização da pesquisa. A Figura 4 mostra a localização dos pontos de pesquisa Origem e Destino e CCV adotadas, com destaque para o traçado do Rodoanel na imagem.

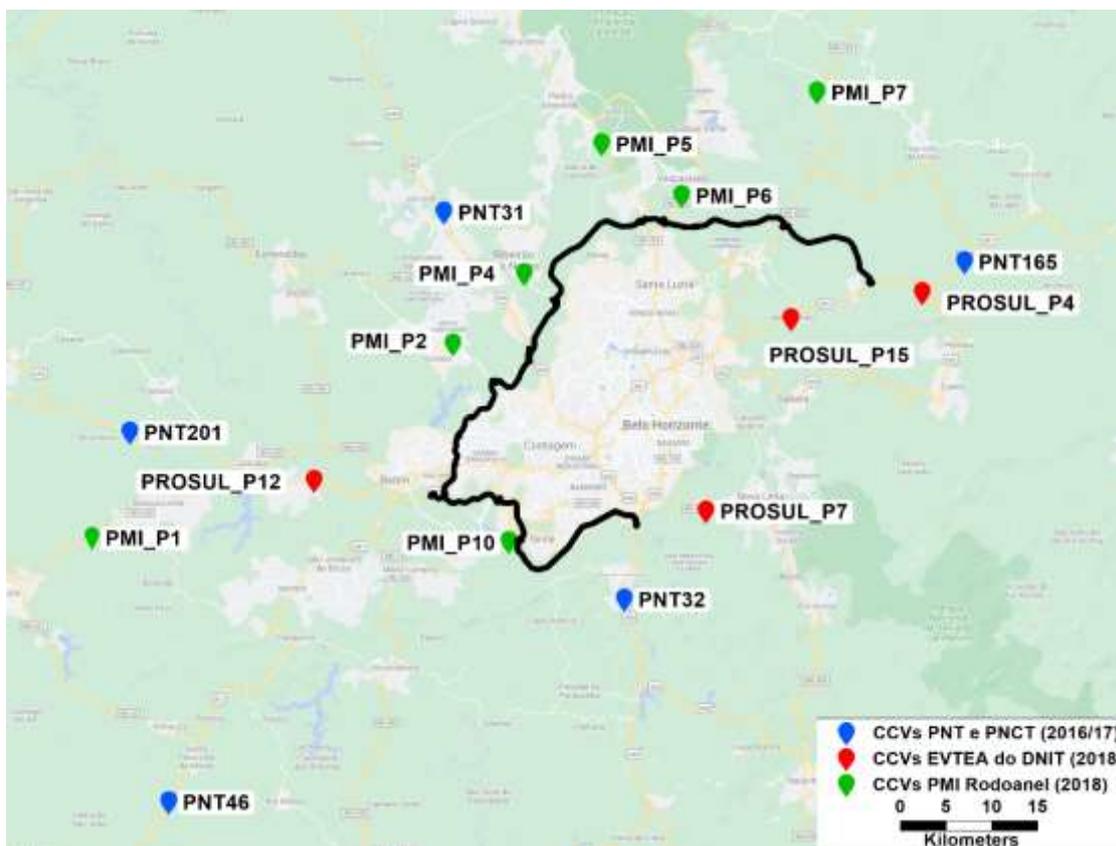


FIGURA 4: LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE PESQUISA

Inicialmente, os dados das pesquisas existentes (DNIT e SEINFRA) foram todos consolidados em um banco de dados único, os quais foram analisados e validados (entrevistas inconsistentes devem ser descartadas nessa etapa). A partir dos dados de contagens, foi feita a expansão das viagens identificadas nas entrevistas (por ponto de

contagem), já que os dados aferidos em campo representam apenas uma amostragem do VDMA.

Concluído o processo de expansão, as viagens são consolidadas em matrizes de veículos, separadas por categoria, conforme descrito na seção anterior. Através dessa segmentação é possível identificar quais rotas são mais interessantes para cada categoria de veículos, uma vez que cada uma possui um custo associado específico, o qual tem influência direta na escolha de rota.

Na montagem da matriz tomou-se o cuidado de eliminar contagens duplas e desconsiderar-se, das matrizes da RMBH disponibilizadas, pares já representados nas pesquisas Origem Destino realizadas nas rodovias. Assim, dentre os dados disponíveis na Pesquisa Domiciliar de Origem Destino de Viagens da RMBH e na Matriz Origem Destino de Cargas da RMBH, foram incluídos apenas os pares de Origem e Destino que não foram identificados nos pontos de pesquisas rodoviárias (pois não passam por esses locais), mas que têm potencial para utilizar o futuro Rodoanel da RMBH. Ou seja, buscou-se incluir na matriz do estudo viagens urbanas/metropolitanas que poderão ser atraídas pelo futuro Rodoanel da RMBH.

É importante destacar que todos os dados foram dessazonalizados e atualizados para o ano de 2019, a partir das estatísticas de evolução do tráfego nos últimos anos, obtido pela ABCR, e pelos fatores sazonais identificados nas praças de pedágio das rodovias concedidas no entorno da RMBH.

4.4.1. Eliminação de Contagens Duplas

A eliminação de contagens duplas, ou seja, de veículos que passam por mais de um posto de pesquisa, no processo de expansão de viagens é fundamental para a construção de matrizes origem e destino.

Para tanto, desenvolveu-se uma metodologia que visa ajustar os fatores de expansão de cada viagens, considerando o número médio de postos de contagem localizados na sua rota. O esquema da

Figura 5 ilustra esse processo. Primeiramente, identifica-se todos os possíveis caminhos em rede a serem percorridos para completar um par OD, utilizando métodos de alocação estocástica de um volume hipotético de viagens na rede montada, que indica os caminhos lógicos mais prováveis em cada caso. Em função do resultado, o fator Cont.Postos é calculado como a soma do número de postos de pesquisa atravessados por cada par OD, ponderada pelo percentual de escolha de cada rota nesse carregamento estocástico preliminar.



FIGURA 5: ELIMINAÇÃO DAS CONTAGENS DUPLAS

O volume final de viagens para cada par origem e destino é determinado a partir da equação a seguir:

$$V_i^{OD} = \sum \frac{F_{exp}}{Cont. Postos}$$

Em que:

- V_i^{OD} = Volume final de viagens da matriz OD, calculado a partir do somatório dos fatores de expansão corrigidos pelo fator “Cont. Postos”;
- F_{exp} = Fator de expansão inicial calculado para cada par OD;
- Cont. Postos = Fator de correção para eliminação de duplas contagens.

4.5. Zonas de Tráfego

As Zonas de Tráfego (ZTs) constituem as menores unidades espaciais para fins de planejamento de transporte, sendo possível, em função, e a partir, das mesmas, a realização de simulações de carregamento de veículos, cargas ou passageiros.

O zoneamento proposto leva em consideração a influência de polos de produção e atração de viagens, origens e destinos na área de interesse do estudo e projetos de transporte ou de desenvolvimento com potencial de impactar as vias em estudo. Através do mapa de calor identificado na Figura 6, pode-se observar a porcentagem de deslocamentos feitos, por automóveis, nos municípios ponderados pela população, o que justifica a divisão de zonas de tráfego. Em seguida as Figura 7 e Figura 8 são os mapas de calor dos deslocamentos de caminhões leves (de 2 a 4 eixos) e pesados (de 5 ou mais eixos), respectivamente, nos municípios brasileiros.

Os mapas de calor foram criados utilizando como base a matriz de Origem e Destino do estudo, ou seja, indicam em vermelho os municípios com maior contribuição de viagens na matriz. Eles têm como objetivo identificar os principais municípios de geração/atração de viagens para o futuro Rodoanel.

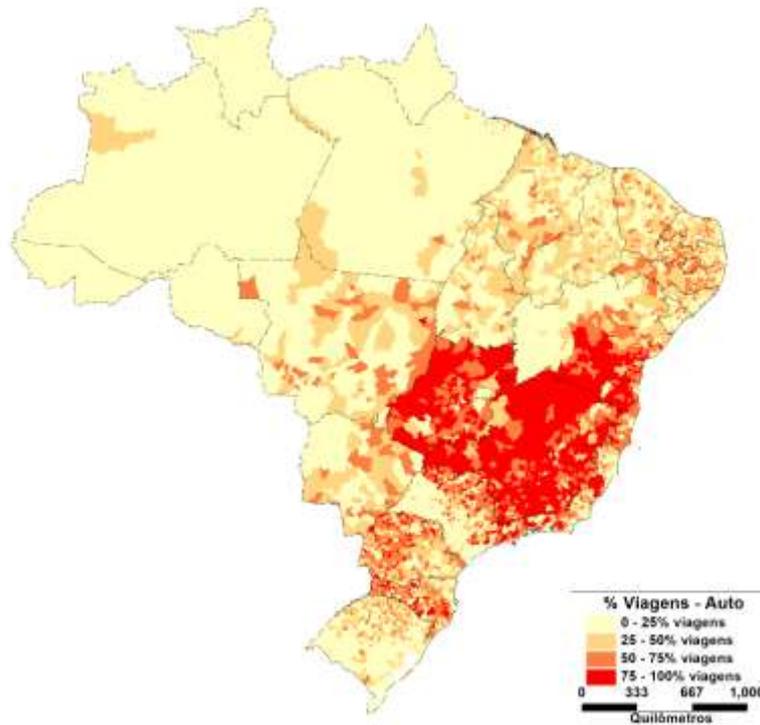


FIGURA 6: MAPA DE CALOR DOS DESLOCAMENTOS DE AUTOMOVEIS NOS MUNICÍPIOS

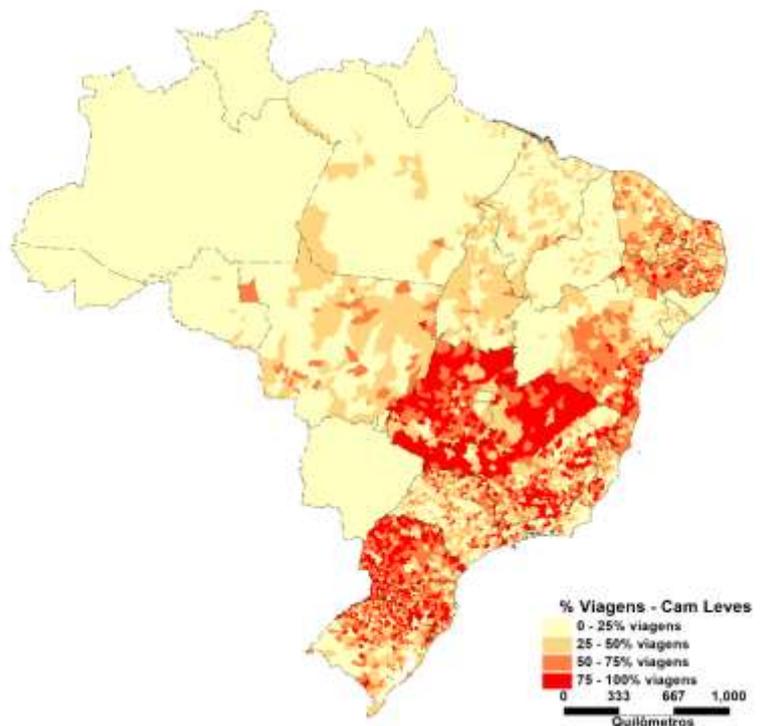


FIGURA 7: MAPA DE CALOR DOS DESLOCAMENTOS DE CAMINHÕES LEVES NOS MUNICÍPIOS

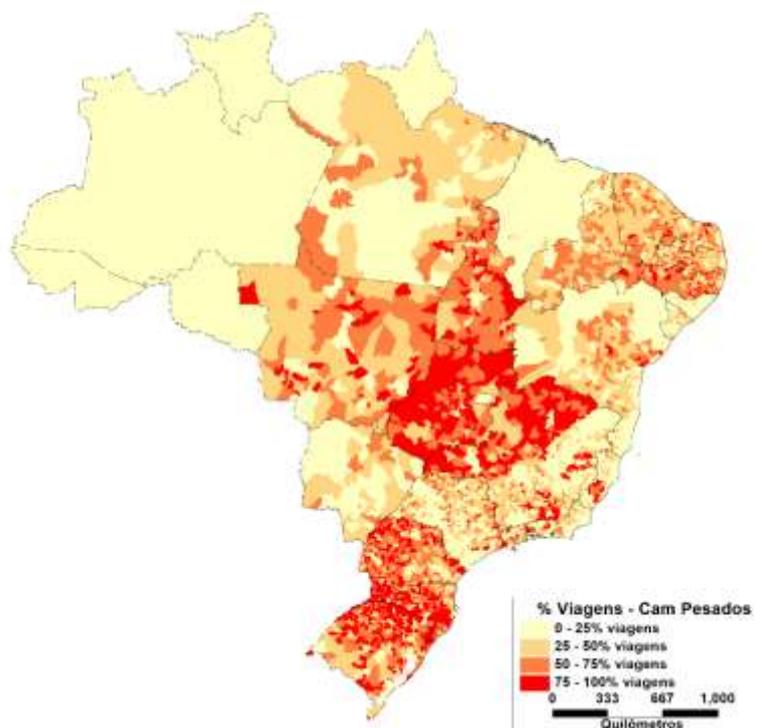


FIGURA 8: MAPA DE CALOR DOS DESLOCAMENTOS DE CAMINHÕES PESADOS NOS MUNICÍPIOS

A abordagem foi do tipo *focusing*, na qual toda a rede de transportes ampliada com alguma influência é mantida, alterando-se apenas os níveis de agregação das zonas internas e externas à área de influência. Assim, nas regiões mais próximas ao futuro Rodoanel da RMBH, foi realizado um zoneamento mais detalhado. Nas regiões mais afastadas, em que é menor a influência na formação e configuração espacial dos fluxos, o zoneamento agrega progressivamente áreas maiores.

Para a análise da distribuição espacial, bem como outras características espaciais e operacionais dos fluxos de tráfego que utilizariam a rodovia proposta nesse estudo, considerou-se como sua área de influência ampliada todo o território nacional. Este foi dividido em 264 zonas de tráfego, conforme indicado na Tabela 7 e representado na Figura 9. A Figura 10 destaca as zonas de tráfego adotadas no Estado de Minas Gerais, a Unidade da Federação que o projeto está localizado.

TABELA 7: UNIDADES ESPACIAIS ADOTADAS NO ZONEAMENTO

Unidades espaciais	Unidades espaciais adotadas
Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH)	Unidade de Mobilidade Metropolitana (UMM)*
Colar Metropolitano de Belo Horizonte	Município
Demais municípios de Minas Gerais	Microrregião
Vale do Mucuri, Norte de Minas, Noroeste de Minas e Triângulo Mineiro	Mesorregião
São Paulo, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Bahia	Mesorregião
Demais Unidades da Federação	Unidades da Federação (UF)

*zona 101 - Centro sul: foi desagradado em duas zonas, conforme Pesquisa OD de Carga da RMBH.



FIGURA 9: ZONEAMENTO ADOTADO NO ESTUDO

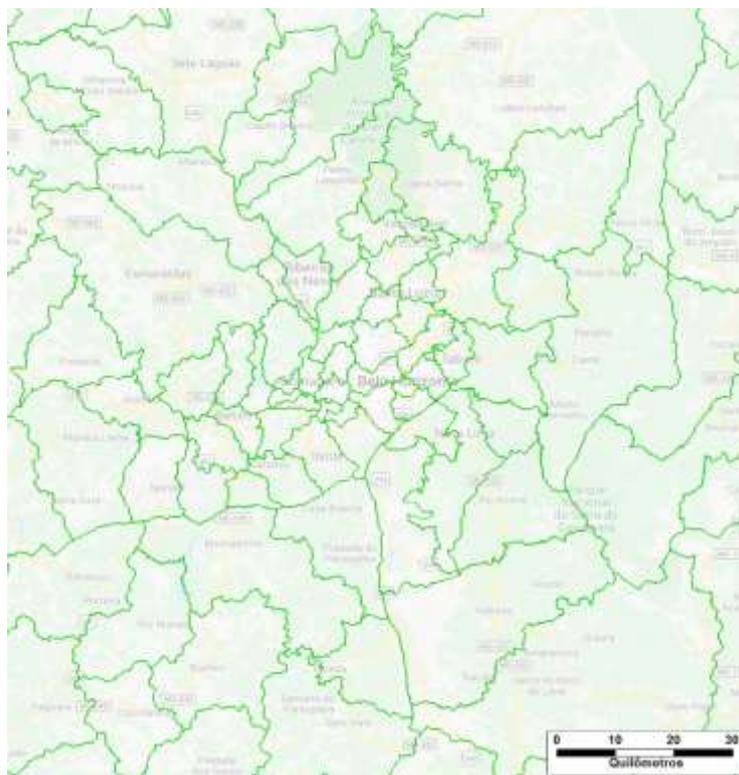


FIGURA 10: ZONAS DE TRÁFEGO EM MINAS GERAIS

Com a ideia de mostrar a área de influência nas zonas já delimitadas, o mapa da Figura 11 mostra as viagens feitas por automóveis entre as zonas de tráfego, observando que zonas mais próximas apresentam mais viagens dessa categoria.

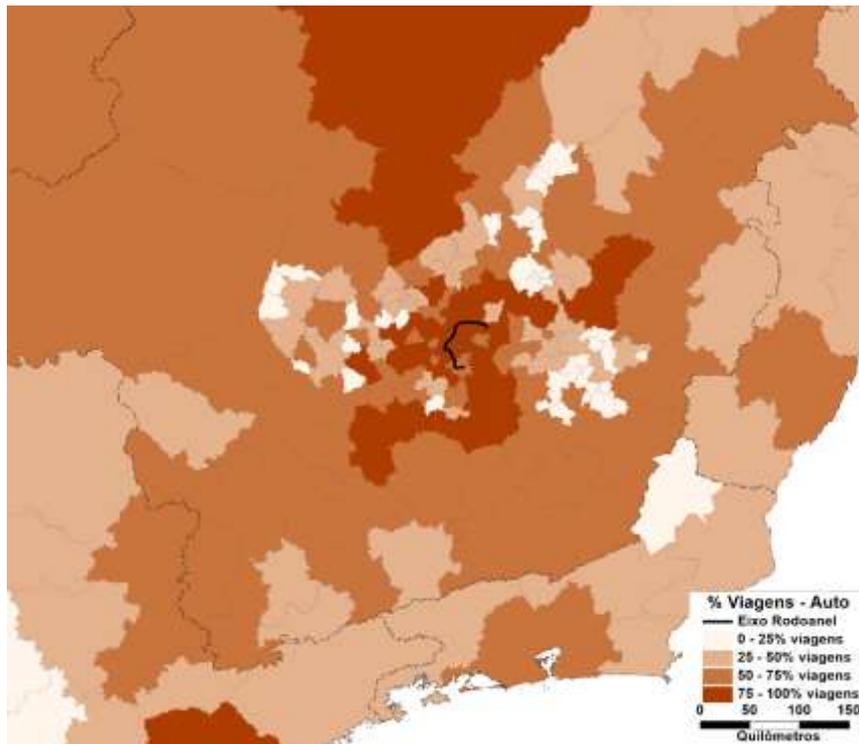


FIGURA 11: ÁREA DE INFLUÊNCIA DE AUTOMÓVEIS

Nas viagens realizadas por caminhões leves, as zonas próximas apresentam menos viagens e zonas mais distantes começam a se destacar, de acordo com a Figura 12.

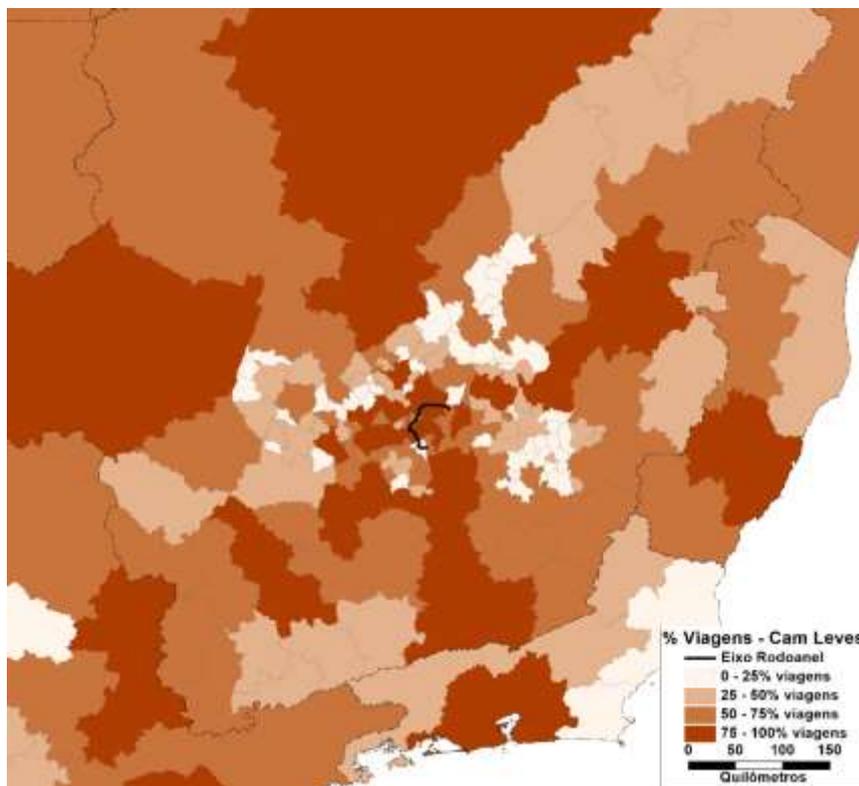


FIGURA 12: ÁREA DE INFLUÊNCIA DE CAMINHÕES LEVES

Nas viagens feitas por veículos pesados, as zonas de tráfego mais distantes se destacam mais, por isso a área de influência muda em relação a outras categorias, isso pode ser visto na Figura 13 com um zoom maior para observar o fenômeno.

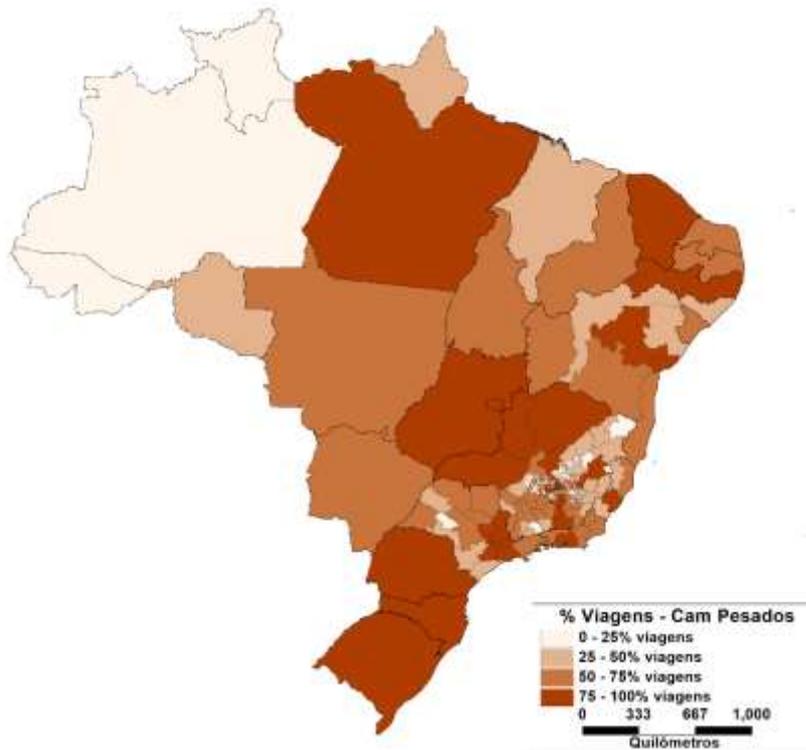


FIGURA 13: ÁREA DE INFLUÊNCIA DE CAMINHÕES PESADOS

Cabe ressaltar que, no modelo de transporte utilizado, as zonas de tráfego são representadas por um ponto denominado centroide, que funciona como polo de produção e atração de viagens, utilizando-se da rede para realizar os seus deslocamentos. O centroide é posicionado no ponto de maior população da zona de tráfego, atribuindo-se a ele todos os fluxos com origem ou destino em zonas de tráfego incluídas em seus limites. A Figura 14 ilustra a localização dos centroides nas zonas de tráfego.

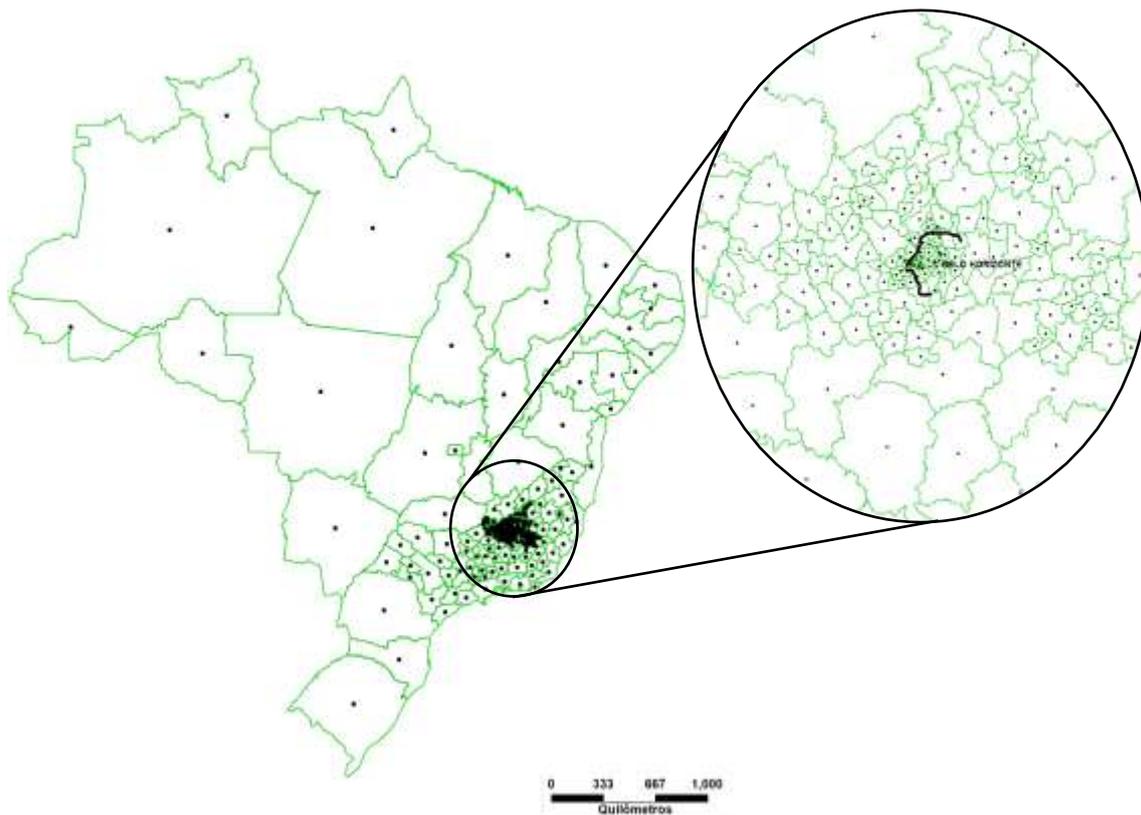


FIGURA 14: CENTROIDES NAS ZONAS DE TRÁFEGO

4.6. Calibração do Modelo

Após a primeira alocação de tráfego, é necessário verificar se o modelo consegue reproduzir a realidade de forma satisfatória, de forma a fornecer dados consistentes e confiáveis. Antes que os resultados provenientes da alocação de tráfego sejam utilizados para influenciar decisões, a estabilidade do processo de alocação deve ser avaliada.

A calibração, portanto, refere-se a todos os procedimentos de correção e definição de parâmetros com o objetivo de obter uma melhor adequação do modelo à realidade. Nesse sentido, é realizado um processo iterativo, a partir de ajustes de parâmetros do modelo de simulação e dos links, para verificar se os fluxos da Matriz OD construída a partir das contagens de tráfego e pesquisas de origem e destino estão efetivamente passando pelos links da rede que representam os locais onde esses fluxos foram interceptados, frente às inúmeras opções de rota disponíveis.

O processo iterativo de calibração da rede é executado até que a convergência seja obtida. Isso é verificado através de um teste de validação dos caminhos mínimos entre pares OD, com base na minimização do custo generalizado para percorrer cada *link*, através dos seguintes passos:

1. Conferir custos da rede;
2. Checar a consistência das pesquisas OD e CVC;

3. Fazer mapas temáticos com as características principais da rede, visando identificar erros em características visíveis tais como número de faixas ou velocidade de fluxo livre;
4. Usar o teste de validação de caminhos mínimos entre pares OD, com base na minimização do custo generalizado, sendo possível através dessa medida, identificar erros nas ligações dos trechos da rede e nos sentidos das vias;
5. Checar se os pontos de conexão dos centroides das zonas de tráfego e os trechos da rede são adequados;
6. Checar se as impedâncias atribuídas às áreas urbanas estão adequadas, incluindo velocidades de fluxo livre e os parâmetros de calibração da função de atraso;

Um tratamento específico foi dado às viagens intrazonais, ou seja, que possuem origem e destino na mesma zona de tráfego. Nos pontos onde há uma representatividade bastante elevada dessas viagens, optou-se por decompor a zona, de forma a manter as características de viagem “local” na matriz final.

Concluído o processo de definição dos caminhos mínimos entre os vários pares OD, passou-se ao carregamento da rede com os volumes contidos na matriz OD consolidada. Para tanto, utilizou-se o método de alocação “com restrição de capacidade” com base em uma função de atraso que reflete a capacidade de tráfego dos links da rede e os atrasos provocados pelo aumento gradativo dos fluxos de tráfego. A seção 4.6.2 detalha a função de atraso adotada.

Por fim, após todo o processo minucioso de ajuste dos parâmetros da simulação, são aplicadas técnicas de ajuste de matriz, com o objetivo de dimensionar corretamente os volumes de tráfego nos pontos pesquisados. Esse procedimento é realizado através do método “Estimação da Matriz OD” (*OD Matrix Estimation - ODME*) que busca, a partir de uma matriz semente fornecida (OD obtida com as pesquisas) e de contagens em pontos de controle devidamente posicionados na área de estudo (postos CVC), distribuir o tráfego de maneira que a rede de simulação represente o comportamento real do sistema. No processo de ajuste, limitou-se o desvio máximo admitido por par OD em 20%, de forma a não distorcer consideravelmente as características da matriz semente.

4.6.1. Tempos de Viagem na RMBH

Um ponto relevante para o processo de calibração no modelo consiste no fato de não estar sendo alocada uma Matriz OD completa da RMBH. A alocação dessa matriz em uma rede parcial (contemplando apenas as principais ligações do sistema viário) e com zoneamento simplificado (se comparado com estudos de transporte urbano) não é adequado tecnicamente. O percentual de viagens intrazonais seria muito elevado e as opções de rotas limitadas, o que provocaria, inevitavelmente, distorções nos carregamentos de tráfego e, conseqüentemente, nos tempos de viagem resultantes do método.

Como alternativa metodológica, foram utilizados dados reais de velocidade extraídos do *Google Maps Platform*, com o objetivo de identificar os efeitos da saturação do tráfego urbano sobre o tempo de viagem na rede interna à RMBH. Por se tratar de uma região urbana fortemente adensada, a adoção de velocidade de fluxo livre não corresponde à observada nesses locais. Como o Rodoanel da RMBH tem potencial para atrair demanda que atualmente usa a malha urbana e o anel rodoviário de Belo Horizonte, a

caracterização dos tempos de viagem praticados nessas vias é fundamental para representar corretamente os fluxos na região, sobretudo referentes aos pontos de entrada e saída do eixo da rodovia.

4.6.2. Calibração da Função de Atraso

A função de atraso adotada consiste em uma relação matemática que descreve o incremento do tempo de viagem em função do aumento do volume de tráfego. Neste estudo, foi utilizada a função do *Bureau of Publics Roads* (BPR), que correlaciona o incremento no tempo de viagem de um determinado segmento com sua taxa de ocupação (volume/capacidade), como mostrado no esquema da Figura 15.

Onde:

$$t_i \times \left[1 + \alpha_i \left(\frac{x_i}{C_i} \right)^{\beta_i} \right]$$

t_i = Tempo de viagem de fluxo livre no *link* i
 C_i = Capacidade no *link* i
 x_i = Fluxo no *link* i

α = Constante
 β = Constante

} Parâmetros Calibráveis

FIGURA 15: CALIBRAÇÃO DA FUNÇÃO DE ATRASO

Os parâmetros de calibração servem para diferenciar as distintas características das rodovias. A definição de valores coerentes para estes parâmetros determinará como cada segmento se comportará à medida que sua capacidade é atingida. Considerando que atrasos são inversamente proporcionais à velocidade média de percurso, pode-se dizer que a função BPR descreve a relação entre a capacidade de um *link* e a variação da velocidade média de percurso em função dos volumes de tráfego.

O modelo descrito foi calibrado por meio da correlação com as relações fluxo-velocidade para rodovias de pista simples, rodovias de pista dupla e autoestradas apresentadas pelo HCM 2010 (TRB, 2010), respectivamente, *two-lane highways*, *multilane highways* e *freeways*. Os valores foram adaptados para o ambiente rodoviário brasileiro por meio dos estudos conduzidos na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para rodovias de pista simples (Bessa Jr., 2009) e autoestradas/rodovias de pista dupla (Andrade, 2012). Foram obtidos valores para o coeficiente α para cada *link* da rede, em função, além do tipo de pista, do relevo e da velocidade limite permitida da via.

4.6.3. Validação do Modelo

O processo de validação do modelo consiste em verificar se as rotas determinadas para os diferentes pares OD correspondem de fato aos caminhos escolhidos na prática pelos motoristas e se os volumes de tráfego observados em cada ponto de pesquisa estão sendo corretamente representados no carregamento de tráfego. É importante destacar que a utilização de pontos de verificação diferentes daqueles utilizados na construção

da Matriz OD é inviável, uma vez que esses pontos atendem a pares OD não contemplados pelas pesquisas de referência da Matriz.

Em cada iteração do processo de calibração, a qualidade do ajuste é verificada por meio de dois indicadores principais:

- Teste de consistência da alocação do tráfego atual em pontos de controle da rede, correspondentes aos locais dos postos de CVC. É realizado por meio da comparação estatística, por meio de regressão linear, entre os carregamentos de tráfego obtidos na simulação com os volumes diários médios calculados a partir dos dados em campo, projetados para o ano base 2019.
- A fórmula GEH, que consiste em um método usado em Engenharia de Transportes para a verificação da qualidade da calibração de um modelo de simulação. É realizado por meio de uma comparação quantitativa e qualitativa dos fluxos estimados pelo modelo com os aferidos em campo, para os pontos de controle adotados:

$$GEH = \sqrt{\frac{2 * (m - c)^2}{m + c}}$$

Sendo:

- m = volume de tráfego alocado na rede
- c = volume de tráfego contado no posto de controle

Como resultado da GEH têm-se

- Menor que 5 (cinco): indica uma aproximação muito boa entre o alocado e o observado;
- Entre 5 (cinco) e 10 (dez): indica uma boa aproximação entre o alocado (fluxo modelado) e o observado;
- Entra 10 (dez) e 12 (doze): indica uma aproximação aceitável entre o alocado (fluxo modelado) e o observado;
- Maior que 12 (doze): indica que os dados devem ser mais bem avaliados.

A Tabela 8 apresenta o resultado da fórmula GEH para os pontos de contagem monitorados nesse estudo.

TABELA 8: GEH

CVC	Veículos Leves	Veículos Pesados		Total
		Menor que 5 eixos	5 ou mais eixos	
PNT31	0.9	0.8	5.6	3.4
PNT31	3.4	0.7	6.1	5.7
PNT32	0.5	0.3	0.5	0.7
PNT32	0.2	0.2	0.0	0.2
PNT46	0.5	0.0	0.1	0.4
PNT46	0.7	0.2	0.0	0.7
PNT165	0.4	0.8	8.1	2.8
PNT165	1.2	1.0	10.2	4.9
PNT201	1.1	0.2	0.0	1.0
PNT201	0.3	0.1	0.3	0.4
PMI_P1	0.5	0.1	0.3	0.5
PMI_P1	0.2	0.1	0.3	0.2
PMI_P2	0.8	0.0	0.3	0.8
PMI_P2	0.6	0.4	0.4	0.5
PMI_P4	1.8	0.2	0.2	1.8
PMI_P4	0.6	0.2	0.2	0.5
PMI_P5	2.7	0.2	0.0	2.5
PMI_P5	11.8	0.1	0.0	10.6
PMI_P6	0.0	0.0	0.0	0.0
PMI_P6	7.1	0.0	0.2	7.0
PMI_P7	0.0	0.1	0.3	0.0
PMI_P7	0.1	0.1	0.3	0.0
PMI_P10	4.0	1.4	0.7	4.2
PMI_P10	3.5	1.0	0.4	3.6

O Gráfico 1 mostra os resultados da alocação final com ajuste sintético (método ODME), comparando os volumes alocados (simulados) com os volumes reais (contados) nos locais onde foram realizadas contagens. Nele é possível verificar a dispersão e deslocamento da situação ideal, representada pela linha diagonal. Nota-se que após o ajuste, os volumes alocados tiveram um ajuste de aproximadamente 99,97% com os volumes reais e um desvio médio de apenas 0,12%. Isso indica uma adequada confiabilidade quanto à calibração da rede para a situação atual.

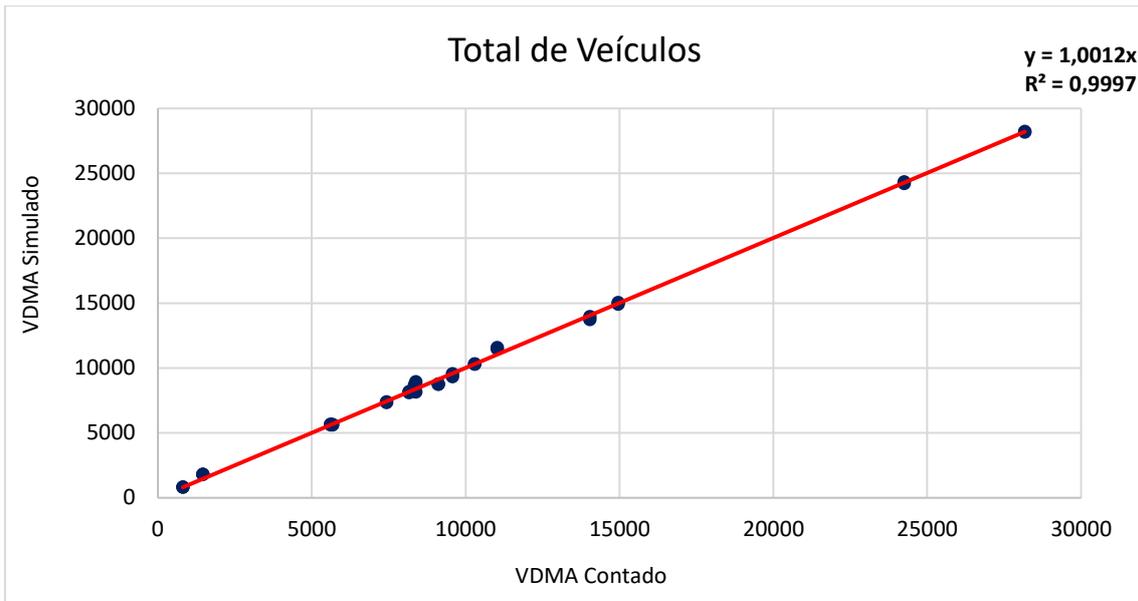


GRÁFICO 1: CALIBRAÇÃO FINAL DO MODELO APÓS AJUSTE SINTÉTICO

5. Cenários de Simulação

As simulações do Estudo de Tráfego e Projeção da Demanda do Rodoanel da RMBH, foram realizadas em 3 fases:

- **Simulações Iniciais:** foram realizadas na fase inicial do Estudo de Demanda, tendo como base o traçado do Estudo de Pré-Viabilidade, buscando entender a demanda potencial do Rodoanel da RMBH (sem a cobrança de pedágio) e o comportamento dessa demanda em relação a duas grandes variáveis: Restrição do tráfego para veículos pesados no Anel Rodoviário de Belo Horizonte e o tipo de pedagiamento a ser adotado (tarifa cheia ou tarifa quilométrica).
- **Simulações Finais:** foram realizadas na fase final do projeto, considerando o traçado definido no projeto básico de engenharia, também desenvolvido dentro do contexto do Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da RMBH. Além disso, as simulações foram desenvolvidas considerando a adoção do pedagiamento com tarifa quilométrica e diferentes alternativas para a implantação faseada do Rodoanel da RMBH. A restrição do tráfego para veículos pesados no Anel Rodoviário de Belo Horizonte foi considerada apenas nos cenários com as quatro alças em operação
- **Simulações Etapa 2 – pós Consulta Pública:** foram realizadas após o período de Consulta Pública, considerando, em relação ao traçado das simulações finais, a alteração na alça Sul. Além disso, as simulações foram desenvolvidas considerando a adoção do pedagiamento com tarifa quilométrica e implantação faseada do Rodoanel da RMBH. A restrição do tráfego para veículos pesados no Anel Rodoviário de Belo Horizonte foi considerada apenas nos cenários com as quatro alças em operação

Em todos os cenários de simulação desenvolvidos ao longo do projeto, foram adotadas as premissas descritas no item 5.1 relacionadas à implantação de projetos de infraestrutura rodoviária na área de influência.

A Tabela 9 apresenta todos os cenários simulados ao longo do Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da RMBH, separando os cenários analisados em cada fase realizada do Estudo de Tráfego e Projeção da Demanda.

Os resultados detalhados das simulações iniciais e finais (previa a consulta pública) estão apresentados em versões anteriores do Relatório de Estudo de Tráfego e Projeção da Demanda, e serviram como base para os projetos de engenharia e estudos operacionais. Além disso, no Capítulo 6 - Demanda Potencial do presente documento, estão apresentados os principais resultados das simulações, que permitiram caracterizar a demanda potencial do Rodoanel da RMBH e definir as premissas para as simulações finais.

Destaca-se ainda que nas simulações iniciais, não foi considerado nenhum faseamento na implantação do Rodoanel da RMBH. Já na fase de simulações finais, com as demais variáveis definidas, foi realizada uma análise de diferentes alternativas de implantação da rodovia em fases, considerando sempre início da concessão em 2022 e o término em 2051.

Para as Simulações dessa segunda etapa (pós fase de consulta pública) foi considerado o faseamento na implantação das alças, considerando sempre início da concessão em julho de 2022 e o término em junho de 2052:

- **CENÁRIO1: Base Norte + Oeste** - com início da operação das duas alças simultâneas em janeiro de 2028;
- **CENÁRIO 2: Gatilho Sudoeste após 3 anos do início das obras da alça Norte + Oeste** - com início da operação das alças Norte e Oeste simultâneas em janeiro de 2028 e a alça Sudoeste em julho de 2030.
- **CENÁRIO 3: Gatilho Sudeste + Sul após 3 anos do início das obras da alça Norte + Oeste** - com início da operação das alças Norte e Oeste simultâneas em janeiro de 2028, da alça Sudoeste em julho de 2030 e alça Sul em janeiro de 2031.

TABELA 9: CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Fase	Traçado	Implantação	Restrição Veículos Carga - Anel BH	Cenário	Pedagiamento
Inicial	Pré-Viabilidade	Rodoanel Completo	Sem Restrição	01A	Sem Pedágio
				01B	Tarifa cheia
				01C	Tarifa quilométrica
			Com Restrição	02A	Sem Pedágio
				02B	Tarifa cheia
				02C	Tarifa quilométrica
Final	Diretriz	Oeste-Norte	Sem Restrição	CEN01	Tarifa quilométrica
		Oeste -Norte + Sudoeste	Sem Restrição	CEN02	
		Oeste -Norte – Sudoeste+Sul	Com Restrição	CEN03	
		Oeste -Norte - Sudoeste	Sem Restrição	CEN04	
		Oeste -Norte – Sudoeste + Sul	Com Restrição	CEN05	
		Oeste -Norte – Sudoeste + Sul	Com Restrição	CEN06	
Etapa 2	Pós consulta pública	Oeste-Norte	Sem Restrição	CEN01	Tarifa quilométrica
		Oeste -Norte + Sudoeste	Sem Restrição	CEN02	
		Oeste -Norte – Sudoeste+Sul	Com Restrição	CEN03	

5.1. Definição de premissas

As premissas foram definidas a partir de obras e alterações previstas na malha viária que tenham potencial para interferir no fluxo de tráfego do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

A Tabela 10 mostra essas alterações previstas e que devem ser concluídas antes da efetiva operação do Rodoanel da RMBH. A Figura 16 indica a localização dessas alterações.

As obras e alterações a serem consideradas no estudo, e a hipótese de que todas elas estejam implantadas antes do início da operação do Rodoanel da RMBH, foi avaliada e validada junto ao Poder Público (Governo do Estado de Minas Gerais).

TABELA 10: ALTERAÇÕES PREVISTAS CONSIDERADAS COMO PREMISSAS

ALTERAÇÕES PREVISTAS
Melhorias da BR-135 (conforme PER da concessão)
Final da duplicação obrigatória da BR-040
Duplicação da BR-381 entre Belo Horizonte e Governador Valadares
Pedagiamento da BR-381/BR-262
Melhorias e pedagiamento da BR-116/MG (entre Gov. Valadares e Além Paraíba)
Melhorias na MG-424
Concessões das rodovias BR 116/MG e BR 251/MG

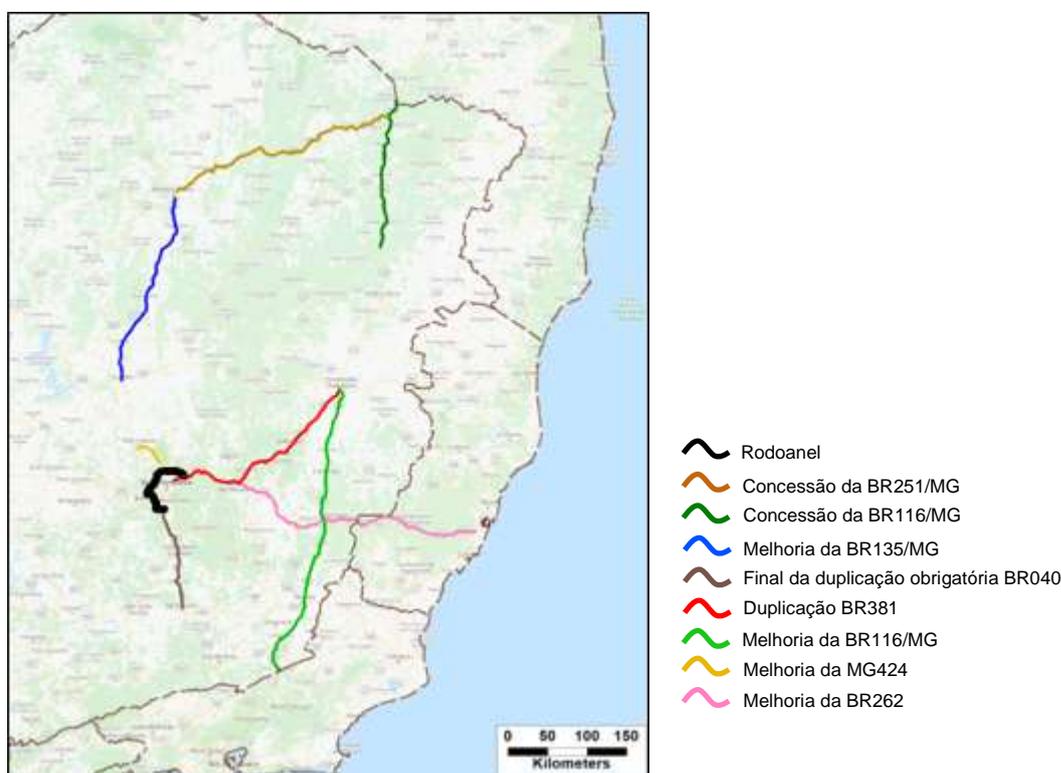


FIGURA 16: LOCALIZAÇÃO DAS ALTERAÇÕES PREVISTAS

6. Demanda Potencial

Como o estudo em questão trata-se de uma rodovia a ser construída e sem tráfego próprio, é necessário avaliar as possíveis variações na região de estudo, em relação ao cenário atual, no momento da implantação da infraestrutura.

Atualmente o Anel Rodoviário de Belo Horizonte, devido à expansão e adensamento urbano, atende não apenas ao tráfego rodoviário, mas também ao tráfego urbano.

De acordo com Cupolillo (2006), a integração entre tráfego urbano e tráfego rodoviário pode acarretar aumento de acidentes, impactando inclusive na severidade deles. Além disso, podem causar o aumento do tempo de viagens, provocar atrasos, congestionamentos e diminuição da velocidade média praticada nas vias. A urbanização na região também aumenta o número de acessos ao longo da rodovia, o que atrai demanda urbana para a via, contribuindo para os pontos levantados acima.

Hoje o atendimento ao tráfego rodoviário se dá pelo Anel Rodoviário de Belo Horizonte que atua como um importante elo de um conjunto de rodovias federais, fundamentais para a economia do País e, particularmente, da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Exerce também um papel estruturador do território da Cidade, atuando tanto pelas facilidades, ao permitir uma série de interligações das regiões urbanas do seu entorno, quanto pelas dificuldades, ao se apresentar como uma barreira, impedindo outras possibilidades de ligações.

A história de como esta dualidade entre o rodoviário e o urbano foi se acentuando é a mesma que se pode perceber em implantações de estruturas semelhantes no país. Um quadro inicial mostra a criação de um anel rodoviário em regiões periféricas cujo objetivo é preservar o centro urbano de atravessamento pelo tráfego rodoviário de longa distância, protegendo-o. No quadro seguinte, encontra-se a cidade se expandindo e engolfando a nova rodovia, fazendo-a muitas vezes atuar como parte de seu sistema viário. Entretanto, a via não perde, como não poderia, o seu caráter rodoviário, configurando-se, portanto, como um elemento de atuação dúbia, tendo de atender objetivos antagônicos, tornando-se palco perfeito para um cenário, muitas vezes trágico, de congestionamentos e acidentes.

Um dos sintomas deste conflito de usuários, um com interesse local e o outro usando a via apenas como atravessamento, é o elevado número de acidentes verificados ali, agravado pelo cenário de histórica escassez de investimentos neste setor, o que resulta em implantações parciais das soluções: quase sempre se consegue recursos para implantar o essencial, deixando-se o necessário para um momento posterior, reduzindo a possibilidade de mitigação de pelo menos parcela destes problemas.

No caso em foco, a não implantação de um sistema de pistas marginais que pudesse intermediar o conflito entre as duas funções exercidas pela via e o equacionamento do greide do trecho do Anel entre a BR-040 e a BR-356, incompatível com o tráfego de veículos pesados e razão de uma série de acidentes graves, foram os itens catalisadores na transformação do Anel Rodoviário em um paciente portador de um mal crônico, impedindo-o de atender de modo adequado qualquer de suas demandas específicas e muito menos o conjunto delas.

A Tabela 11 contém estatísticas de vítimas graves ou fatais registradas no Anel Rodoviário de Belo Horizonte, entre os anos de 2012 e 2016. É importante destacar que essa foi a via com o maior número de acidentes do Estado. Esses dados foram retirados do relatório de Diagnóstico dos Acidentes de Trânsito de Minas Gerais produzido pela Secretaria Estadual de Defesa Social em parceria com Polícia Militar, Polícia Civil, Corpo de Bombeiros e Polícia Rodoviária Federal.

TABELA 11: VÍTIMAS DE ACIDENTES NO ANEL RODOVIÁRIO DE BELO HORIZONTE

Ano	Vítimas Graves	Vítimas Fatais
2012	126	39
2013	113	41
2014	142	36
2015	108	26
2016	121	35

Fonte: CINDS (2013, 2014, 2015, 2016) e Governo do estado de Minas Gerais (2017)

Ressalta-se que a proibição de caminhões pesados no trecho citado é uma constante nos debates realizados continuamente no Estado.

O tráfego esperado para o futuro Rodoanel da RMBH é, em grande parte, parcela do que usa hoje o Anel Rodoviário. Portanto, o Rodoanel se configura como a alternativa possível e adequada para, entre outras coisas, esta proibição de caminhões pesados no anel rodoviário, o que impacta diretamente na demanda resultante do Rodoanel.

De forma a abordar os pontos levantados acima definiu-se os dois cenários apresentados na Tabela 12, com variações em relação a restrições de veículos pesados (cinco ou mais eixos) no Anel Rodoviário de Belo Horizonte.

TABELA 12: CENÁRIOS – DEMANDA POTENCIAL

Cenário	Restrição Veículos Carga no Anel Rodoviário de BH
01A	Sem Restrição
02A	Com Restrição

Sob a perspectiva do modelo de simulação, o cenário “Com Restrição” proibiu a circulação de caminhões pesados apenas nas seções do Anel Rodoviário, não eliminando, assim, as viagens com origem ou destino às zonas de tráfego de Belo Horizonte internas ao Anel. O objetivo, portanto, foi de coibir que viagens de atravessamento da RMBH utilizassem o Anel Rodoviário, uma vez que os tempos e custos de deslocamento pelas vias urbanas presentes no modelo são suficientemente desencorajadores para tais viagens.

Do ponto de vista prático, essa restrição pode ser flexibilizada, por exemplo, durante o período da noite e/ou madrugada, permitindo o acesso desses veículos aos empreendimentos instalados às margens do Anel em horários de menor demanda de tráfego. Outra possibilidade é o controle das viagens de atravessamento por meio de fiscalização eletrônica nos corredores de acesso à região mais adensada da RMBH. Tratam-se, portanto, de medidas operacionais a serem estudadas em momento

oportuno, a fim de evitar prejuízos ao abastecimento e às atividades econômicas, em especial, na capital mineira.

A implantação de restrição horária ou parcial para veículos de carga no Anel Viário de Belo Horizonte, é uma medida viável do ponto de vista operacional, mas que pode acarretar mudanças de comportamento dos usuários (como mudança no horário de realização de viagens). Essas mudanças de comportamento não podem ser representadas através do modelo de simulação adotado.

Contudo, os impactos que tais medidas podem gerar na demanda do Rodoanel da RMBH, poderiam ser avaliadas com base nas análises dos dois cenários extremos simulados, com e sem restrição, sem necessidade de simulações, visto que o *software* não conseguiria reproduzir mudanças de comportamento do usuário devida a restrições horária ou parcial.

Com o objetivo de avaliar a demanda máxima do empreendimento proposto, foi realizada uma simulação, para o cenário 01A e 02A, sem considerar tarifa de pedágio no Rodoanel. Foi observado um crescimento de 2% de veículos na demanda potencial do Rodoanel da RMBH no cenário com restrição de veículos de carga no Anel Rodoviário de Belo Horizonte, correspondendo a mais de 4 mil veículos por dia. Em eixos, há um crescimento de 11% em relação à demanda potencial sem restrição, totalizando mais 25 mil eixos por dia.

Extrapolando a análise, pode-se concluir que a restrição de caminhões com mais de cinco eixos retira do Anel Rodoviário de Belo Horizonte mais de 4mil veículos pesados, em média 6 eixos/veículo. Isso possibilita a segregação entre veículos de carga e veículos de tráfego urbano, provavelmente resultando na redução de acidentes e de sua severidade no Anel Rodoviário de Belo Horizonte.

A Tabela 13 apresenta a composição do tráfego, em VDMA e em Eixos, para o cenário 01A, sem restrição no Anel Rodoviário de Belo Horizonte, em comparação ao cenário com restrição. É possível observar, o aumento da participação de veículos comercial devido a proibições de caminhões pesados no anel.

TABELA 13: COMPOSIÇÃO DO TRÁFEGO

Cenário	VDMA		Eixos diários	
	Passageiro	Comercial	Passageiro	Comercial
Sem Restrição (01A)	83%	17%	52%	48%
Com Restrição (02A)	79%	21%	45%	55%

6.1. Perfil de viagens

Buscando entender o perfil de viagens da demanda potencial do Rodoanel da RMBH foram feitas análises visando:

- Avaliar se as viagens são de atravessamento, ou seja, não tem origem ou destino na região interna ao Rodoanel da RMBH;

- Conhecer as linhas de desejo das viagens atraídas pelo Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte.

6.1.1. Viagens de Atravessamento

Para a análise de viagens de atravessamento, foram consideradas 2 hipóteses:

- Viagens de atravessamento – Zonas Internas ao Rodoanel: viagem de atravessamentos são todas as viagens que não têm nem origem nem destino nas zonas de tráfego internas ao Rodoanel da RMBH (zonas de tráfego destacadas na Figura 17);
- Viagens de atravessamento – Belo Horizonte: viagem de atravessamentos são todas as viagens que não têm nem origem nem destino em Belo Horizonte.

As tabelas a seguir indicam o percentual de viagens da demanda potencial, para essas duas considerações:

- A Tabela 14 apresenta o percentual de viagens que **não tem origem nem destino** nas zonas de tráfego destacadas na Figura 17;
- A Tabela 15 apresenta o percentual de viagens que **não tem origem ou destino** no município de Belo Horizonte.

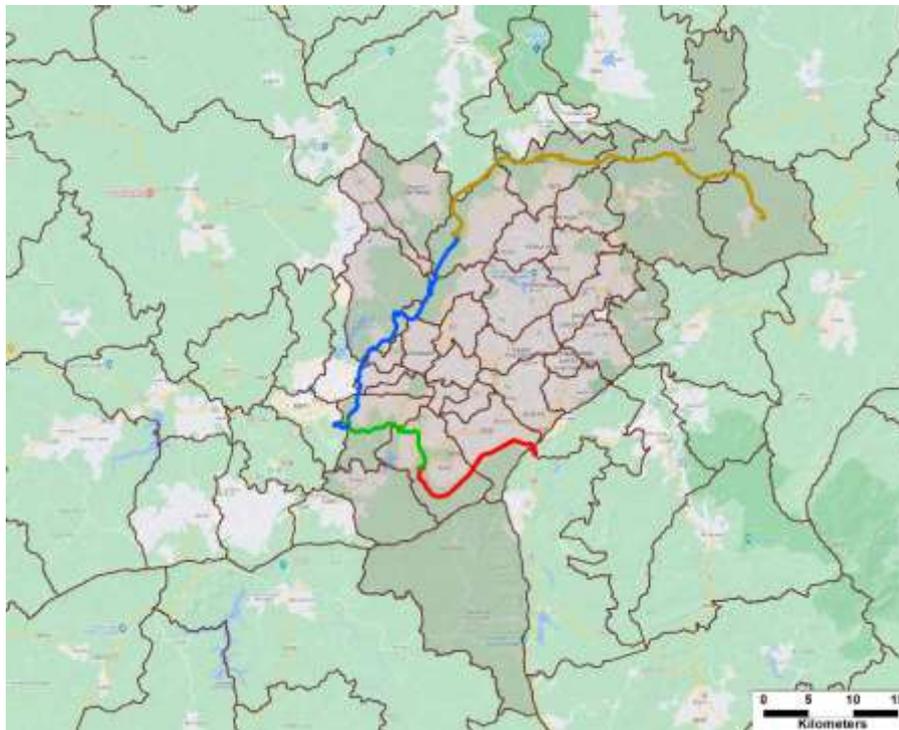


FIGURA 17: ZONAS INTERNAS AO RODOANEL

TABELA 14: VIAGENS DE ATRAVESSAMENTO – ZONAS INTERNAS

Cenário	Automóvel	Cam Leve	Cam Pesado	Caminhão	VDMA	Eixos
SEM restrição (01A)	8%	23%	47%	33%	11%	18%
COM restrição (02A)	8%	23%	45%	34%	11%	20%

TABELA 15: VIAGENS DE ATRAVESSAMENTO – BELO HORIZONTE

Cenário	Automóvel	Cam Leve	Cam Pesado	Caminhão	VDMA	Eixos
SEM restrição (01A)	60%	85%	94%	89%	64%	71%
COM restrição (02A)	60%	85%	88%	87%	64%	71%

6.1.2. Linhas de desejo

As figuras a seguir exemplificam as linhas de desejo da demanda potencial estimada para o Rodoanel da RMBH, para os cenários sem e com restrição no Anel Rodoviário de Belo Horizonte.

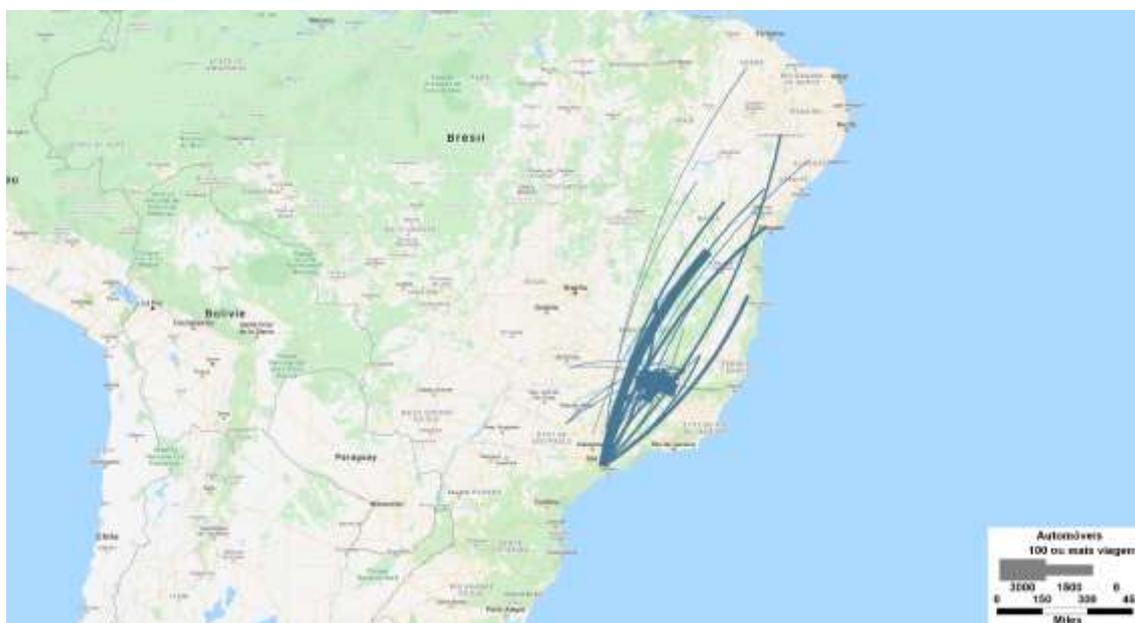


FIGURA 18: LINHAS DE DESEJO DE AUTOMÓVEIS – SEM RESTRIÇÃO (01A)



FIGURA 19: LINHAS DE DESEJO DE AUTOMÓVEIS NA RMBH – SEM RESTRIÇÃO (01A)

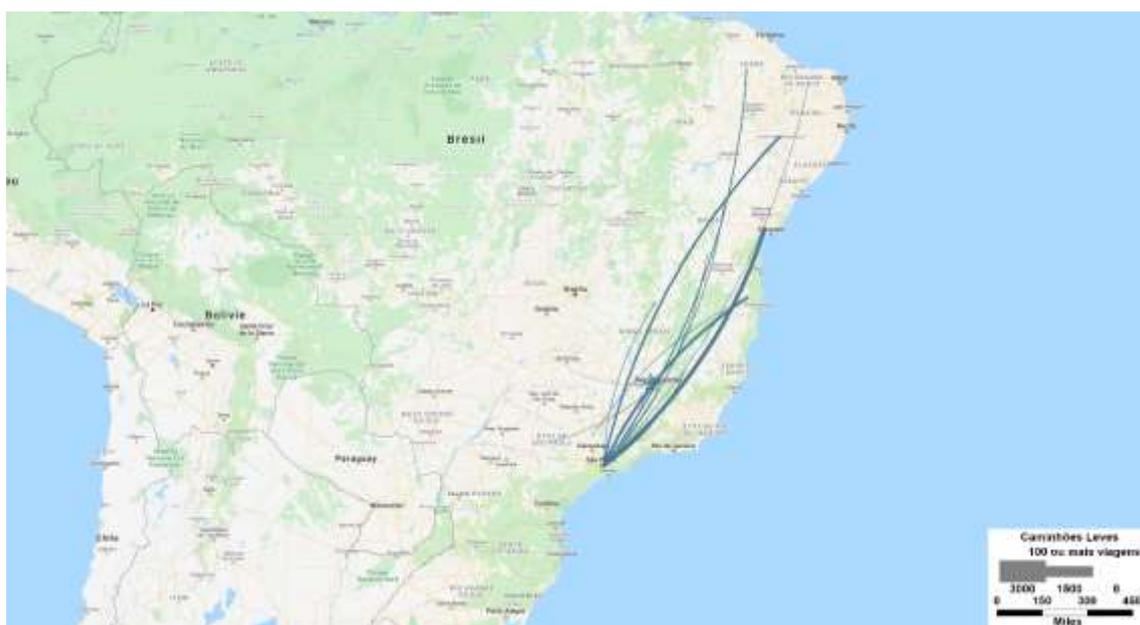


FIGURA 20: LINHAS DE DESEJO PARA CAMINHÕES LEVES – SEM RESTRIÇÃO (01A)

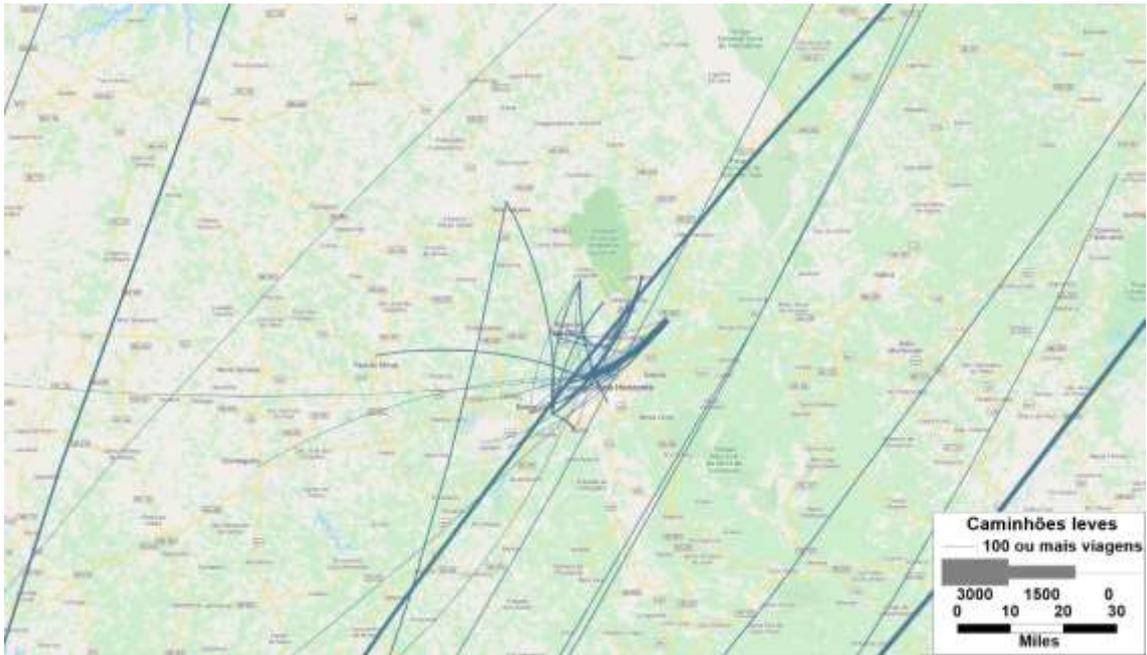


FIGURA 21: LINHAS DE DESEJO DE CAMINHÕES LEVES NA RMBH – SEM RESTRIÇÃO (01A)

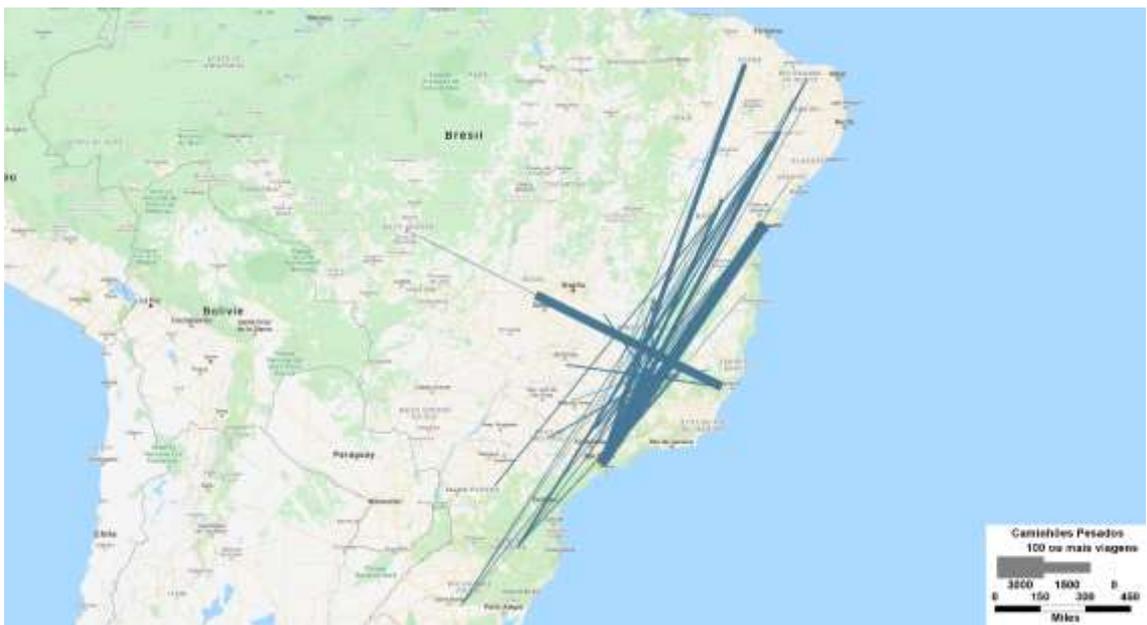


FIGURA 22: LINHAS DE DESEJO PARA CAMINHÕES PESADOS – SEM RESTRIÇÃO (01A)

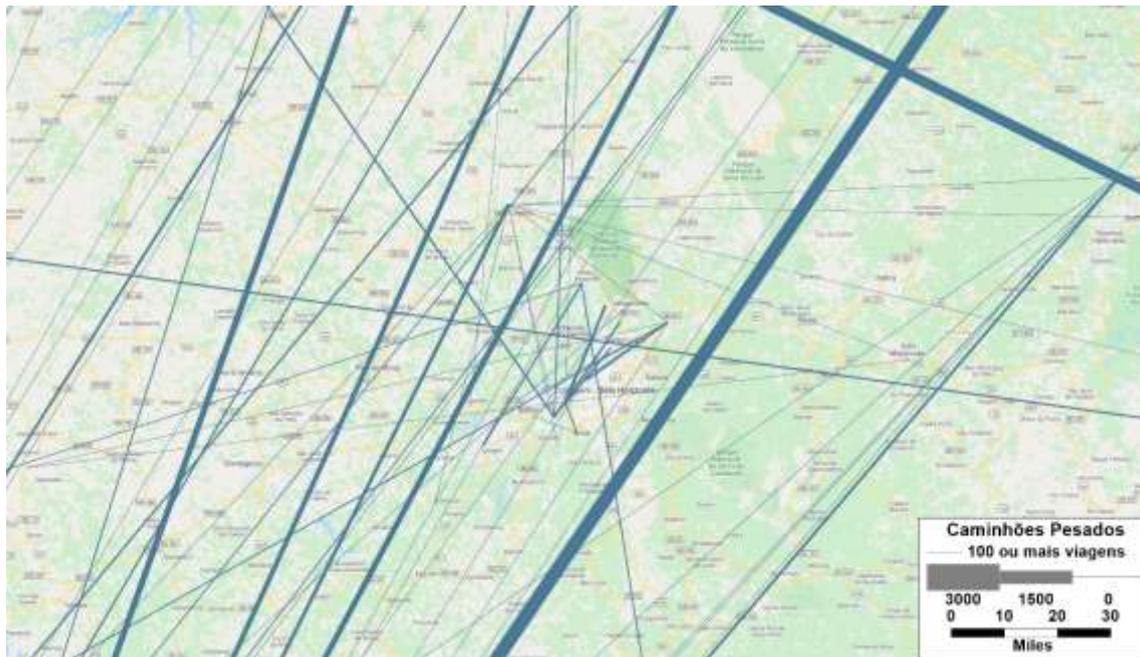


FIGURA 23: LINHAS DE DESEJO DE CAMINHÕES PESADOS NA RMBH – SEM RESTRIÇÃO (01A)

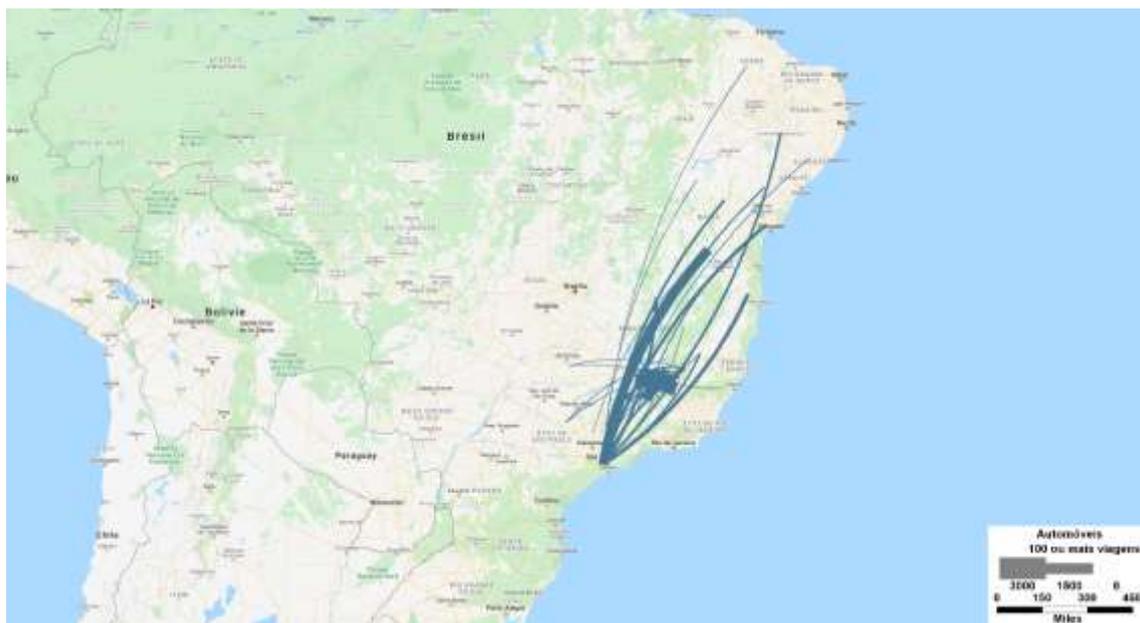


FIGURA 24: LINHAS DE DESEJO PARA AUTOMÓVEIS - COM RESTRIÇÃO (02A)



FIGURA 25: LINHAS DE DESEJO PARA AUTOMÓVES NA RMBH – COM RESTRIÇÃO (02A)

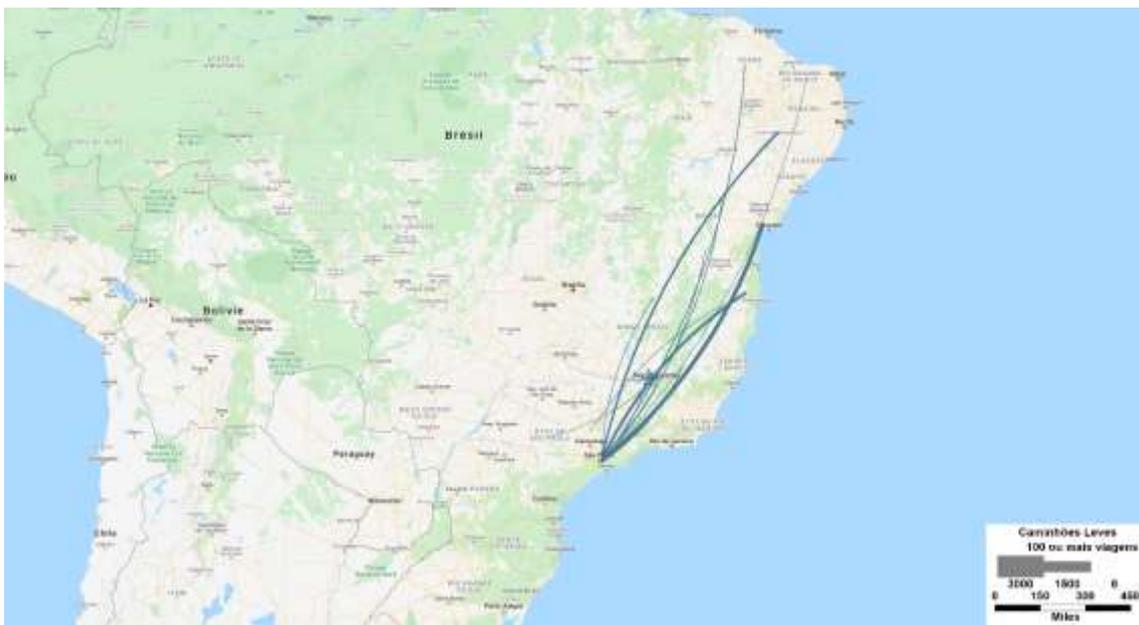


FIGURA 26: LINHAS DE DESEJO PARA CAMINHÕES LEVES - COM RESTRIÇÃO (02A)

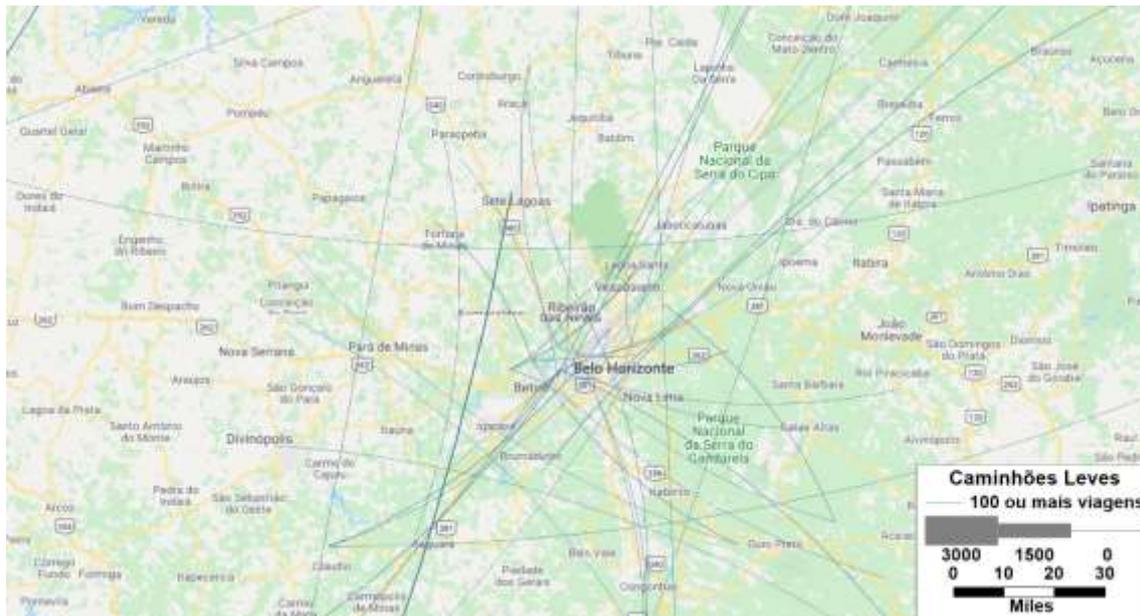


FIGURA 27: LINHAS DE DESEJO PARA CAMINHÕES LEVES NA RMBH – COM RESTRIÇÃO (02A)

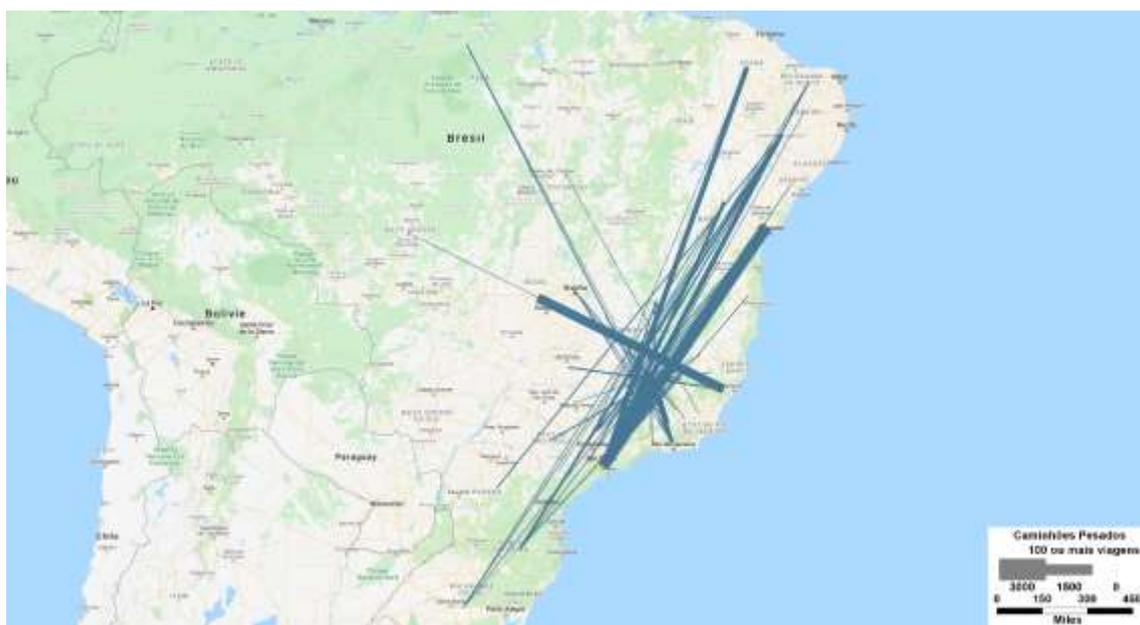


FIGURA 28: LINHAS DE DESEJO PARA CAMINHÕES PESADOS - COM RESTRIÇÃO (02A)

7. Crescimento Vegetativo

Por crescimento vegetativo do tráfego entende-se o crescimento da demanda de transporte associado exclusivamente ao desenvolvimento socioeconômico da região. Assim, não considera outros possíveis efeitos como, por exemplo, concorrência de rotas alternativas, modos e variações no custo de transporte.

7.1. Elasticidade

Com projeções do PIB Brasil apontando uma queda sem precedentes no país e com as incertezas que a pandemia está trazendo para o desenvolvimento econômico, optou-se por uma análise do PIB Brasil em três situações: Crescimento, Crise e Recuperação.

O Gráfico 2 apresenta a evolução do PIB Brasil e do Índice ABCR, para veículos leves e pesados. Se considerarmos toda série histórica completa, teríamos uma elasticidade conforme a Tabela 16.

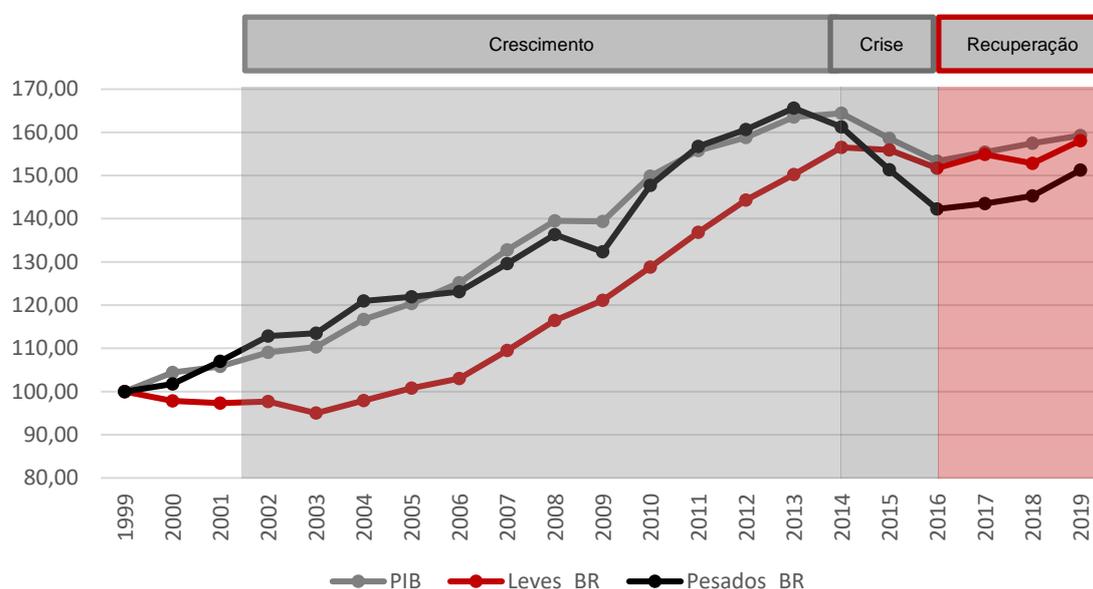


GRÁFICO 2: PIB BRASIL E ÍNDICE ABCR

TABELA 16: ELASTICIDADE PIB BRASIL X ÍNDICE ABCR

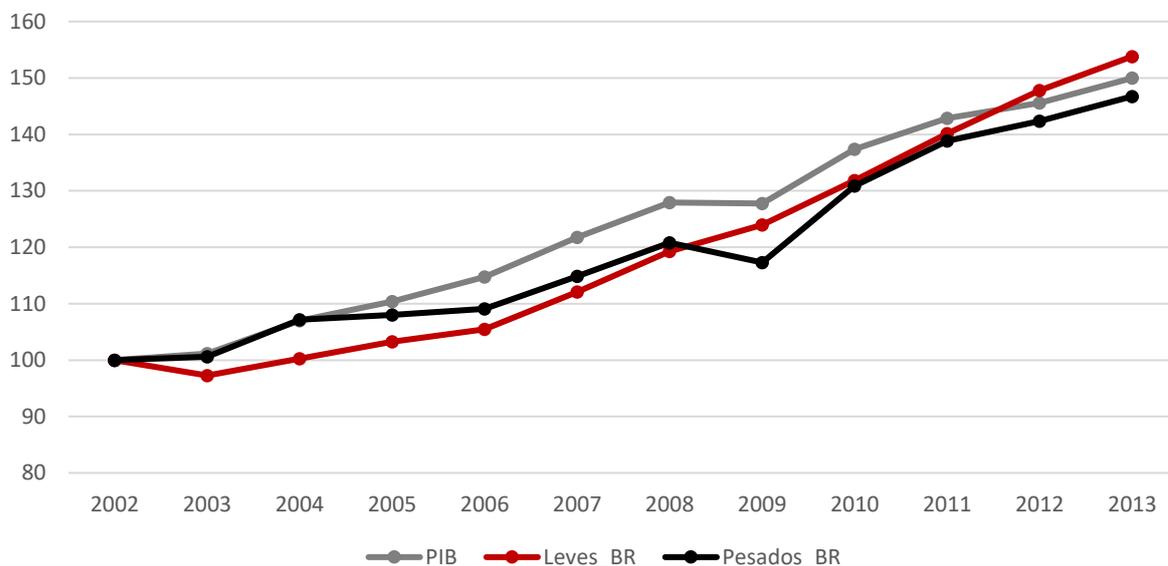
Categoria	Elasticidade
Veículos Leves	1,105
Veículos Pesados	0,890

Separando a análise nas três situações apresentadas acima, obtém-se as análises apresentadas a seguir.

7.1.1. Crescimento

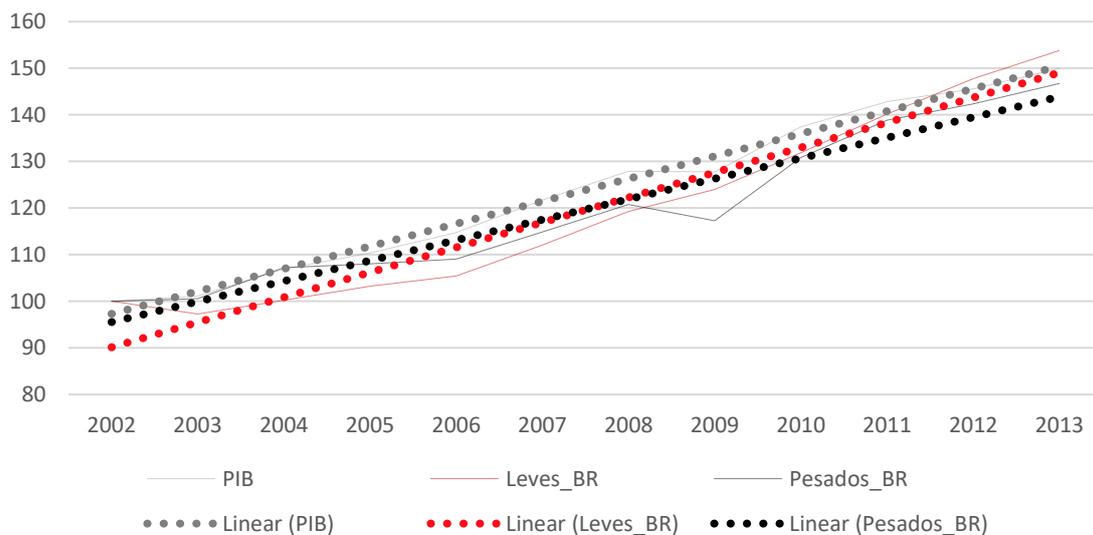
O Gráfico 3 apresenta a evolução do PIB Brasil e do Índice ABCR, para veículos leves e pesados, durante o período de 2002 a 2013. Durante esse tempo, observou-se um crescimento do PIB Brasil.

GRÁFICO 3: PIB BRASIL E ÍNDICE ABCR- PERÍODO DE CRESCIMENTO



Observa-se, no Gráfico 4, a linha de tendência desse período sendo possível perceber que, em períodos de crescimento do PIB Brasil, a inclinação do índice ABCR para veículos leves é maior que a do PIB Brasil, enquanto para veículos pesados a inclinação é menor. Isso significa que há um maior crescimento de veículos leves e um crescimento um pouco menor de veículos pesados no período de crescimento.

GRÁFICO 4: LINHA DE TENDÊNCIA PIB BRASIL E ÍNDICE ABCR- PERÍODO DE CRESCIMENTO



A Tabela 17 apresenta a elasticidade para esse período (crescimento), que será adotada nesse estudo para o crescimento vegetativo da demanda em momentos de projeção de crescimento do PIB por um longo período.

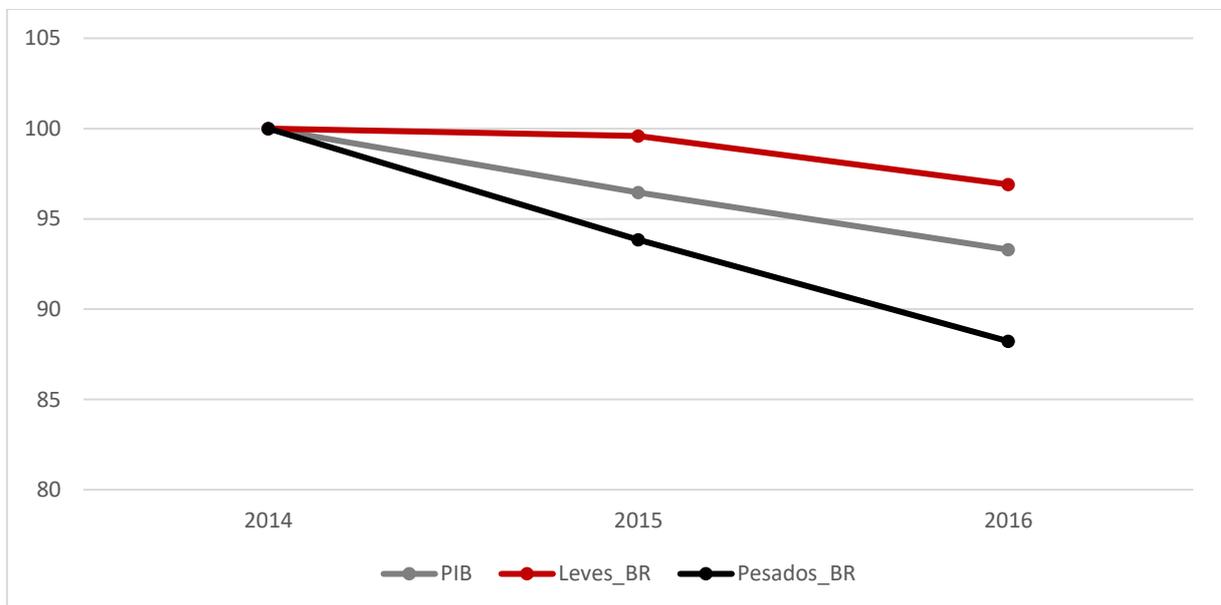
TABELA 17: ELASTICIDADE PIB BRASIL X ÍNDICE ABCR – PERÍODO DE CRESCIMENTO

Categoria	Elasticidade
Veículos Leves	1,116
Veículos Pesados	0,934

7.1.1.1. Crise

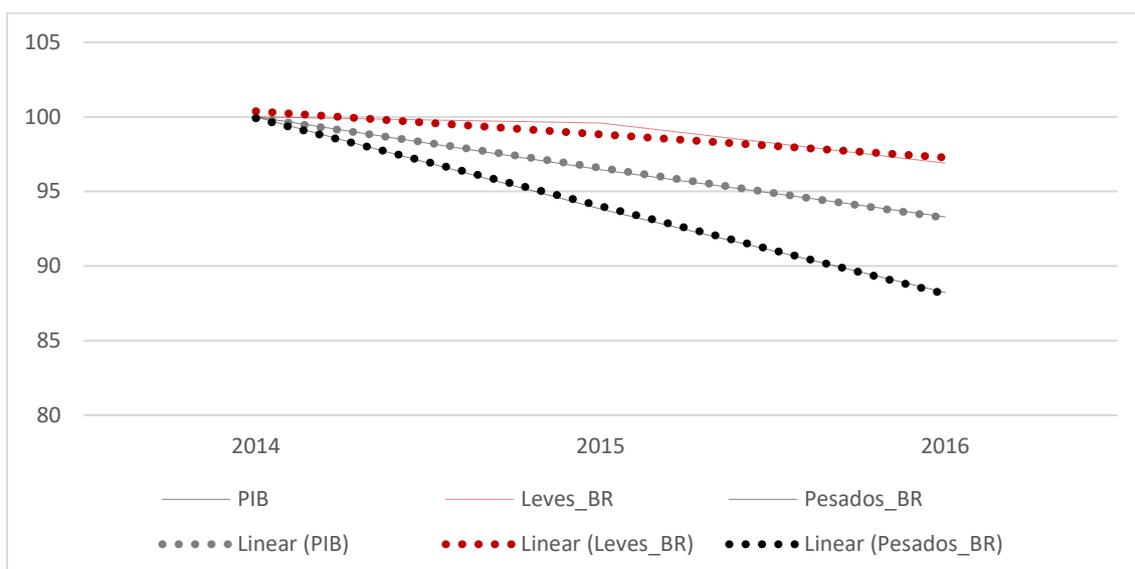
O Gráfico 5 apresenta a evolução do PIB Brasil e do Índice ABCR, para veículos leves e pesados, durante o período de 2014 a 2016. Nesse período o país passou por uma crise econômica, observando taxas negativas do PIB Brasil, assim como o Índice ABCR para veículos leves e pesados.

GRÁFICO 5: PIB BRASIL E ÍNDICE ABCR- PERÍODO DE CRISE



Observa-se, no Gráfico 6, a linha de tendência desse período. É possível perceber que, no período de crise, a inclinação do índice ABCR para veículos leves é menor que a da do PIB Brasil, enquanto para veículos pesados a inclinação é maior. Isso significa que, quando há uma queda no PIB Brasil, o índice ABCR para veículos leves apresenta uma queda mais suave, enquanto, para veículos pesados, o índice ABCR apresenta uma queda mais acentuada.

GRÁFICO 6: LINHA DE TENDÊNCIA PIB BRASIL E ÍNDICE ABCR – PERÍODO DE CRISE



A Tabela 18 apresenta a elasticidade para esse período (crise) e que será adotada para o crescimento vegetativo da demanda em momentos de projeção de queda no PIB Brasil.

TABELA 18: ELASTICIDADE PIB BRASIL X ÍNDICE ABCR – PERÍODO DE CRISE

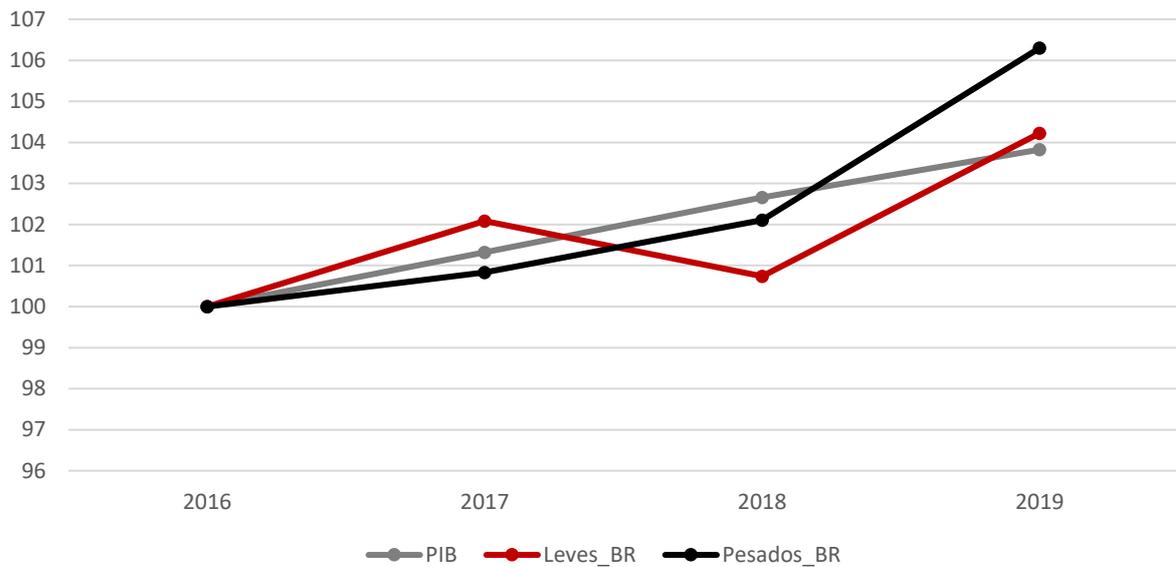
Categoria	Elasticidade
Veículos Leves	0,449
Veículos Pesados	1,805

7.1.2. Recuperação

O Gráfico 7 apresenta a evolução do PIB Brasil e do Índice ABCR, para veículos leves e pesados, durante o período de 2016 a 2019. Durante esse período foi observado a recuperação do PIB Brasil, acompanhado do índice ABCR para veículos leves e pesados.

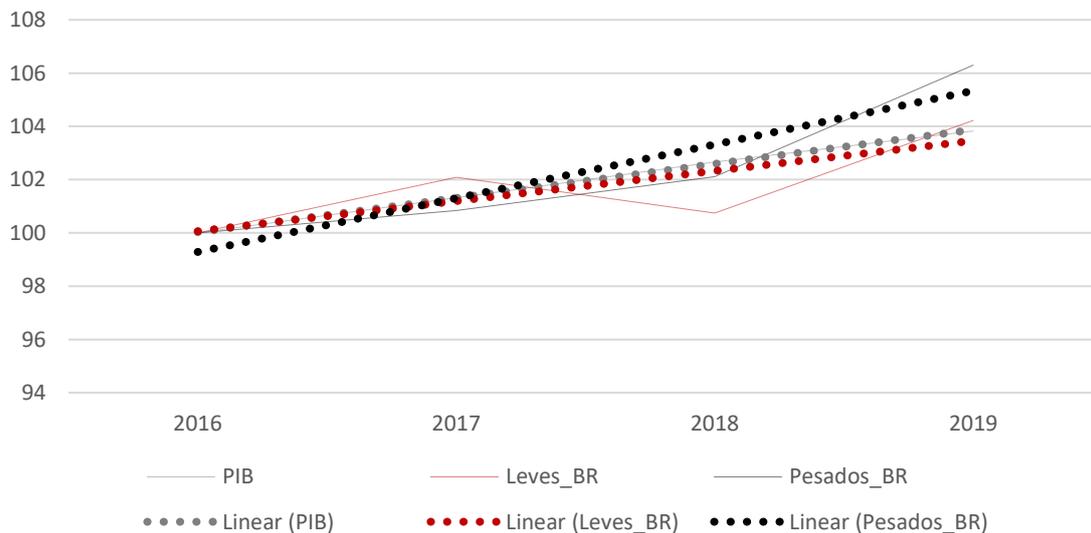
No ano de 2018, no mês de maio, ocorreu a Greve dos Caminhoneiros. Para veículos pesados, a demanda a ser escoada persiste após esse período, mesmo que no período de greve essas mercadorias não sejam transportadas, acumulando com as que ocorreram no período. Portanto, quando se observa o ano completo ainda há um crescimento. Para veículos leves, as viagens normalmente não são para transporte de mercadorias e não ocorre o estoque acumulado. Portanto, após o período da greve não há compensação das viagens não realizadas. Sendo assim, mesmo em um período com crescimento do PIB Brasil, ainda há uma queda no índice ABCR para veículos leves no ano de 2018.

GRÁFICO 7: PIB BRASIL E ÍNDICE ABCR- PERÍODO DE RECUPERAÇÃO



Observa-se, no Gráfico 8, a linha de tendência desse período. É possível perceber que, no período de recuperação, a inclinação do índice ABCR para veículos leves é menor que a do PIB Brasil, enquanto para veículos pesados a inclinação é maior. Isso significa que, quando o país está se recuperando de uma crise econômica, o índice ABCR para veículos leves apresenta um crescimento mais suave, enquanto, para veículos pesados, ele apresenta um crescimento mais acentuado.

GRÁFICO 8: LINHA DE TENDÊNCIA PIB BRASIL E ÍNDICE ABCR- PERÍODO DE RECUPERAÇÃO



A Tabela 19 apresenta a elasticidade para esse período (recuperação) e que será adotada para o crescimento vegetativo da demanda em momentos de projeção de recuperação do PIB Brasil.

TABELA 19: ELASTICIDADE PIB BRASIL X INDICE ABCR – PERÍODO DE RECUPERAÇÃO

Categoria	Elasticidade
Veículos Leves	1,070
Veículos Pesados	1,535

7.1.3. Benchmarking

Buscando validar os valores de elasticidade calculados e utilizados nesse estudo para as projeções do tráfego no Rodoanel da RMBH, foi realizado um benchmarking em outros estudos de tráfego realizados nos últimos anos para rodovias brasileiras.

A Tabela 20 resume as informações levantadas. Nela estão indicados os estudos analisados, o ano do estudo e os respectivos valores para elasticidade adotados em cada um deles.

Como é possível observar, os valores identificados nos demais estudos, tem ordem de grandeza similar aos valores calculados para o estudo atual.

TABELA 20: ELASTICIDADES ADOTADAS EM OUTROS ESTUDOS

Ano	Rodovia	Fonte	Elasticidade		
			Auto	Cam Leve	Cam Pesado
2020	MS-306	SEINFRA Governo do Mato Grosso do Sul	1,2000	0,5959	1,4509
2019	SP-225/SP-310/SP-191/SP-197/SP-261/SP-284/SP-293/SP-294/SP-304/SP-308/SP-331/SP-425	LOGIT/BID/BNDES/ ARTESP/IFC/ Governo de São Paulo	1,13	0,951	1,576
2019	Lote NovaDutra BR-116/RJ/SP e BR-101/RJ/SP	LOGIT/BID/ BNDES/EPL/World Bank Group	0,96	1,119	1,119
2018	BR-381/MG; BR-262/MG; BR-262/ES	HPT Engenharia/EPL	1,00	1,00	1,00
2018	ERS-324, BRS-470 e o Prolongamento da ERS-129	KPMG	0,94	0,99	0,99
2014	BR 101 BA	ANTT	1,20	1,10	1,50
2010	BR 101 ES/BA	ANTT	0,96	0,96	0,96

7.2. Projeção PIB

Definiu-se três cenários para projeção do PIB Brasil, com base em dados do Banco Central do Brasil (BCB) e da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

O primeiro cenário foi construído com base em projeções do BCB no dia 29/05/2020 para os anos de 2020 a 2024. No ano de 2025, foi adotada a projeção referente ao ano

de 2024. E para os anos seguintes, até o fim do período da concessão, foi adotado o PIB de 2,5%, reconhecido como crescimento a longo prazo.

Para os cenários 2 e 3, foram adotados para o ano de 2020 e 2021 a projeção do OCDE, sendo o primeiro a projeção que considera que o Brasil sofrerá apenas uma onda de contaminação do COVID-19. Já o cenário 3, considera a projeção da ODCE para o caso de duas ondas de contaminação. Para ambos os cenários, no ano de 2022 a 2024 foi adotado a projeção do BCB, para o ano de 2025 foi adotado a projeção do ano de 2024. Para os anos seguintes, até o fim da projeção, também foi adotado o PIB de 2,5%.

A Tabela 21 apresenta as projeções para o PIB em cada um dos três cenários descritos acima.

TABELA 21: CENÁRIOS PIB

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
2020	-6,16%	-7,40%	-9,10%
2021	3,49%	4,20%	2,40%
2022	2,54%	2,54%	2,54%
2023	2,41%	2,41%	2,41%
2024	2,40%	2,40%	2,40%
2025	2,40%	2,40%	2,40%
2026-2056	2,50%	2,50%	2,50%

A Tabela 22 apresenta as projeções utilizadas para veículos leves e pesados no Cenário 1. A Tabela 23 apresenta as projeções utilizadas para veículos leves e pesados para o Cenário 2. Já a Tabela 24 apresenta as projeções utilizadas para veículos leves e pesados no Cenário 3. Destaca-se que não foi adotado decaimento da elasticidade em nenhum dos 3 cenários.

TABELA 22: PROJEÇÕES – CENÁRIO 1

Ano	Período	PIB BR	Taxa Veic. Leves	Taxa Veic. Pesados
2020	Crise	-6,16%	-2,76%	-11,12%
2021	Recuperação	3,49%	3,74%	5,36%
2022	Recuperação	2,54%	2,72%	3,90%
2023	Recuperação	2,41%	2,58%	3,70%
2024	Recuperação	2,40%	2,57%	3,68%
2025	Recuperação	2,40%	2,57%	3,68%
2026	Recuperação	2,50%	2,68%	3,84%
2027	Recuperação	2,50%	2,68%	3,84%
2028	Recuperação	2,50%	2,68%	3,84%
2029 - 2056	Crescimento	2,50%	2,79%	2,34%

TABELA 23: PROJEÇÕES – CENÁRIO 2

Ano	Período	PIB BR	Taxa Veic. Leves	Taxa Veic. Pesados
2020	Crise	-7,40%	-3,32%	-13,36%
2021	Recuperação	4,20%	4,50%	6,45%
2022	Recuperação	2,54%	2,72%	3,90%
2023	Recuperação	2,41%	2,58%	3,70%
2024	Recuperação	2,40%	2,57%	3,68%
2025	Recuperação	2,40%	2,57%	3,68%
2026	Recuperação	2,50%	2,68%	3,84%
2027	Recuperação	2,50%	2,68%	3,84%
2028	Recuperação	2,50%	2,68%	3,84%
2029	Recuperação	2,50%	2,68%	3,84%
2030 - 2056	Crescimento	2,50%	2,79%	2,34%

TABELA 24: PROJEÇÕES – CENÁRIO 3

Ano	Período	PIB BR	Taxa Veic. Leves	Taxa Veic. Pesados
2020	Crise	-9,10%	-4,08%	-16,43%
2021	Recuperação	2,40%	2,57%	3,68%
2022	Recuperação	2,54%	2,72%	3,90%
2023	Recuperação	2,41%	2,58%	3,70%
2024	Recuperação	2,40%	2,57%	3,68%
2025	Recuperação	2,40%	2,57%	3,68%
2026	Recuperação	2,50%	2,68%	3,84%
2027	Recuperação	2,50%	2,68%	3,84%
2028	Recuperação	2,50%	2,68%	3,84%
2029	Recuperação	2,50%	2,68%	3,84%
2030	Recuperação	2,50%	2,68%	3,84%
2031 - 2056	Crescimento	2,50%	2,79%	2,34%

Após a análise dos 3 cenários, e discussão com o Poder Público (Governo do Estado de Minas Gerais), optou-se por utilizar o Cenário 1. Esse cenário foi escolhido, buscando manter no Estudo do Rodoanel da RMBH o mesmo padrão de projeções do PIB que estão sendo utilizadas em outros estudos do Estado de Minas Gerais.

8. Variação da Tarifa Base

Utilizando como premissas o traçado final proposto no projeto básico de engenharia e o pedagiamento quilométrico (*free-flow*), definido no plano operacional, foram realizadas novas simulações, buscando identificar a tarifa base ótima para a concessão, ou seja, aquela que obtém a maior receita total.

As simulações foram realizadas considerando a implantação completa do Rodoanel da RMBH, e uma variação da tarifa base entre R\$ 0,20 /km até R\$ 0,55 / km. O Gráfico 9 apresenta a variação da receita anual da concessão (base 2019) em função da variação do valor da tarifa base. A receita máxima foi atingida com uma tarifa de R\$ 0,43 / km, porém a variação na receita total observada é pouco significativa a partir da tarifa R\$ 0,35 / km. Além disso, esse valor é mais condizente com as tarifas observadas atualmente nas demais concessões rodoviárias. Por esses motivos, foi adotada como tarifa base para o Rodoanel da RMBH a tarifa de R\$ 0,35 / km percorrido.

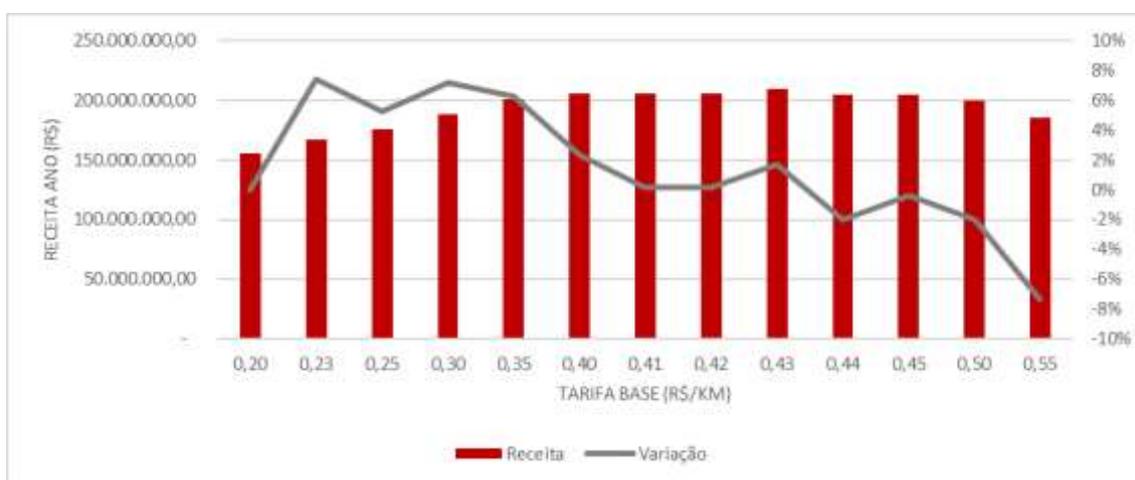


GRÁFICO 9: CURVA RECEITA X TARIFA BASE

9. Projeção de tráfego e receita

A partir da combinação dos efeitos sobre o tráfego futuro (crescimento vegetativo, cobrança de pedágio e rotas alternativas), foram realizadas as projeções de tráfego e estimativa de receita, durante o período da concessão, ano a ano, considerando a tarifa base de R\$0,35 por quilômetro.

Tanto a demanda como a receita foram estimados considerando o período de concessão entre julho de 2022 e junho de 2052, para os 3 cenários de faseamento. A demanda anual projetada, em total de veículos e total de eixos, para cada cenário no Rodoanel da RMBH é apresentada na Tabela 25.

TABELA 25: PROJEÇÃO DA DEMANDA

	Veic (milhões)			Eixos (milhões)		
	CEN01	CEN02	CEN03	CEN01	CEN02	CEN03
2027	12,7	12,7	12,7	15,7	15,7	15,7
2028	26,0	26,0	26,0	32,1	32,1	32,1
2029	26,7	26,7	26,7	32,9	32,9	32,9
2030	27,4	27,4	27,4	33,7	33,7	33,7
2031	28,2	28,2	28,2	34,6	34,6	34,6
2032	29,0	30,5	30,5	35,7	37,7	37,7
2033	29,7	32,7	32,7	36,5	40,6	40,6
2034	30,5	33,6	33,6	37,5	41,7	41,7
2035	31,4	34,5	34,5	38,5	42,8	42,8
2036	32,3	35,6	35,6	39,6	44,1	44,1
2037	33,1	36,4	36,4	40,6	45,1	45,1
2038	34,0	37,4	37,4	41,6	46,3	46,3
2039	35,0	38,5	41,0	42,8	47,5	55,2
2040	36,0	39,6	44,8	44,0	48,9	64,6
2041	36,9	40,6	45,9	45,1	50,1	66,1
2042	37,9	41,7	47,1	46,3	51,4	67,8
2043	39,0	42,9	48,4	47,5	52,8	69,6
2044	40,2	44,2	49,9	48,9	54,4	71,6
2045	41,2	45,3	51,1	50,1	55,7	73,3
2046	42,3	46,5	52,5	51,4	57,1	75,2
2047	43,5	47,8	53,9	52,8	58,7	77,1
2048	44,8	49,2	55,5	54,3	60,4	79,3
2049	45,9	50,4	56,9	55,6	61,8	81,2
2050	47,1	51,8	58,4	57,1	63,5	83,3
2051	48,4	53,2	60,0	58,7	65,2	85,5

A receita anual estimada para cada cenário está apresentada na Tabela 27 e no Gráfico 10. Para o cálculo de estimativa de receita foram aplicados os descontos indicados na Tabela 26.

TABELA 26: DESCONTOS POR TIPO DE USUÁRIO

Tipo Desconto	Desconto na Tarifa Base	Participação
Usuário Tag	8,00%	70% Eixos Equiv.
Usuário Frequente	10,00%	10% Eixos Equiv.
Evasão	10,00%	
Normal	0%	

Na simulação a evasão representa 10% dos eixos equivalentes, mas que o percentual considerado no Edital e Contrato deve seguir o adotado para a modelagem econômico-financeira.

O Cenário 1, onde apenas os trechos Norte e Oeste são implantados, apresenta a menor receita total, com receita total de cerca de 3,7 bilhões de reais. O cenário 2, onde os trechos Norte, Oeste e Sudoeste são implantados, totaliza 4,0 bilhões de reais. O Cenário 3, com a implementação também da alça Sul e o início da restrição de circulação de veículos pesados no Anel viário de Belo Horizonte, para veículos sem origem ou destino nas zonas internas ao anel, totaliza 6.3 bilhões de reais.

TABELA 27: RECEITA ESTIMADA

ANO	CEN01	CEN02	CEN03
2028	109.873.584	109.873.584	109.873.584
2029	112.412.689	112.412.689	112.412.689
2030	115.326.124	121.181.062	121.181.062
2031	118.315.637	130.237.554	212.249.914
2032	121.715.787	133.986.926	218.195.589
2033	124.530.956	137.092.674	223.084.825
2034	127.760.924	140.655.386	228.709.587
2035	131.075.298	144.311.373	234.477.283
2036	134.844.728	148.468.748	241.050.179
2037	137.966.210	151.913.077	246.456.211
2038	141.547.368	155.863.910	252.675.052
2039	145.222.178	159.918.253	259.052.046
2040	149.401.307	164.528.371	266.318.895
2041	152.862.685	168.348.472	272.296.815
2042	156.833.513	172.730.028	279.173.015
2043	160.908.258	177.226.463	286.224.224
2044	165.541.961	182.339.003	294.258.917
2045	169.380.530	186.576.180	300.869.740
2046	173.783.753	191.435.773	308.473.379
2047	178.302.293	196.422.869	316.270.692
2048	183.440.394	202.093.002	325.155.054
2049	187.697.569	206.793.132	332.466.360
2050	192.580.632	212.183.309	340.875.049
2051	197.591.670	217.715.010	349.498.088
2052	101.089.312	111.389.972	178.679.613
Total	3.690.005.360	4.035.696.818	6.309.977.863

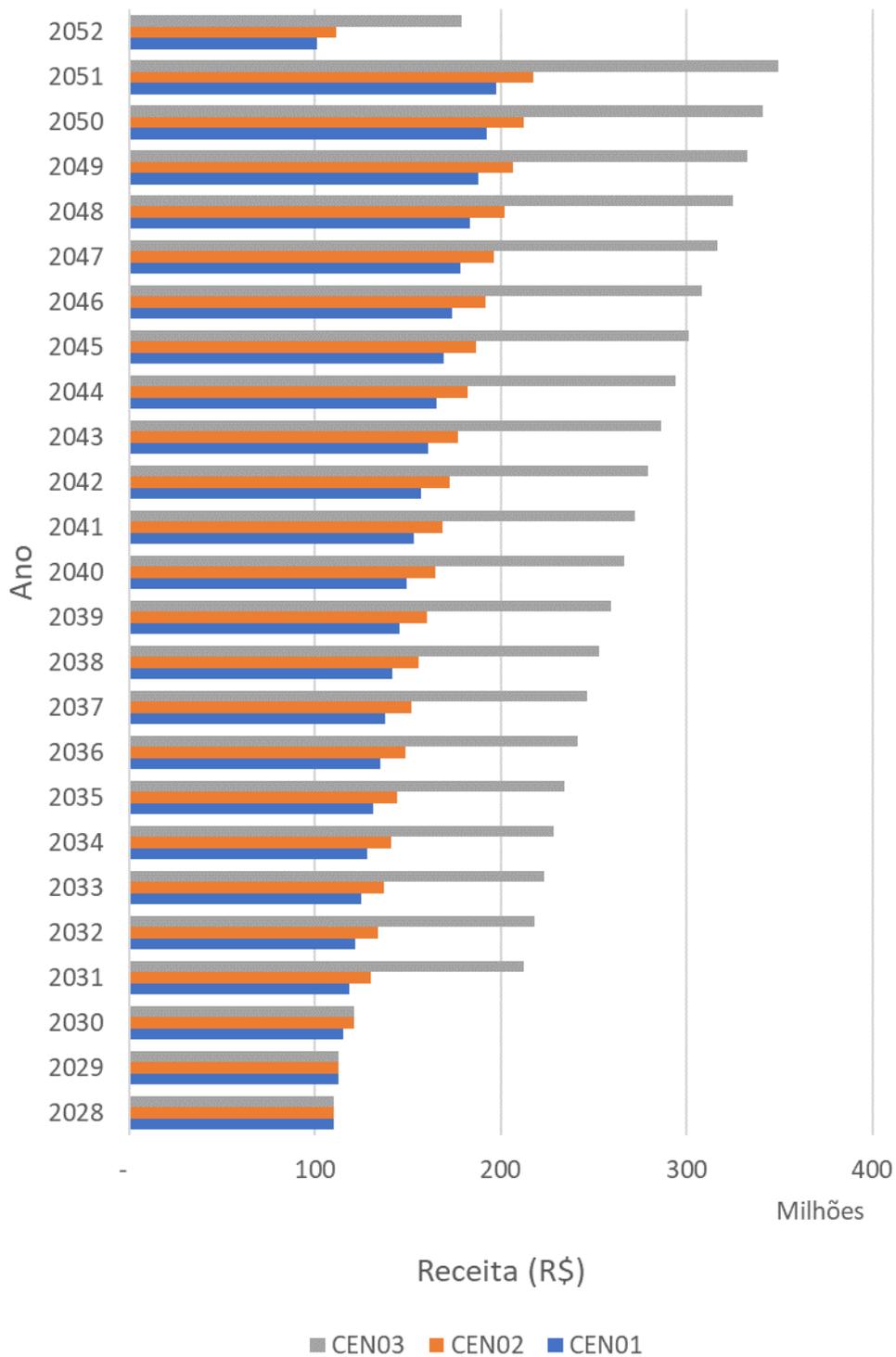


GRÁFICO 10: COMPARAÇÃO RECEITA ANUAL ESTIMADA ENTRE CENÁRIOS

Os gráficos a seguir apresentam a receita anual e a receita acumulada ao longo do período da concessão para cada cenário de simulação.

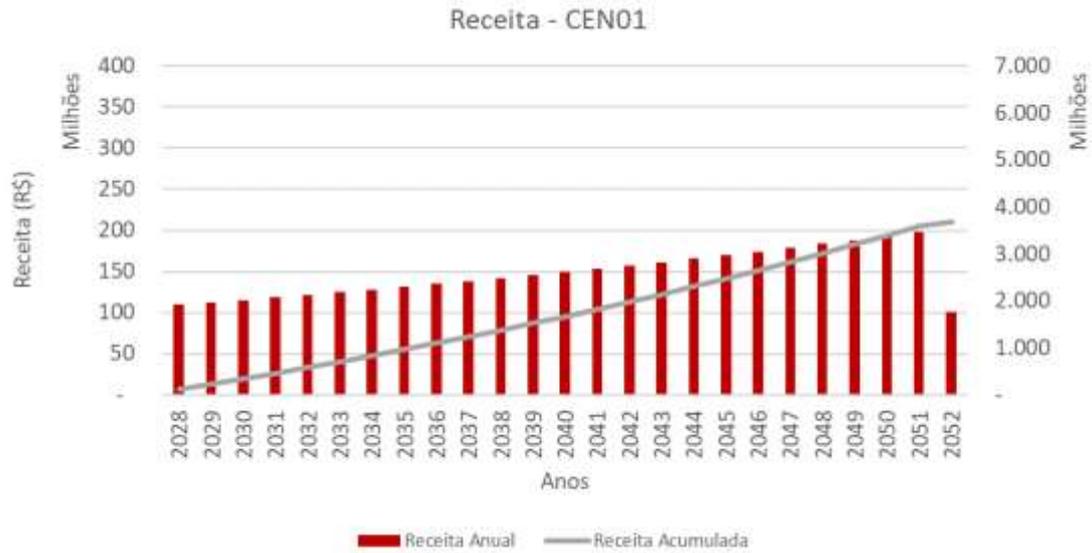


GRÁFICO 11: RECEITA ANUAL E RECEITA ACUMULADA PARA O CENÁRIO 01

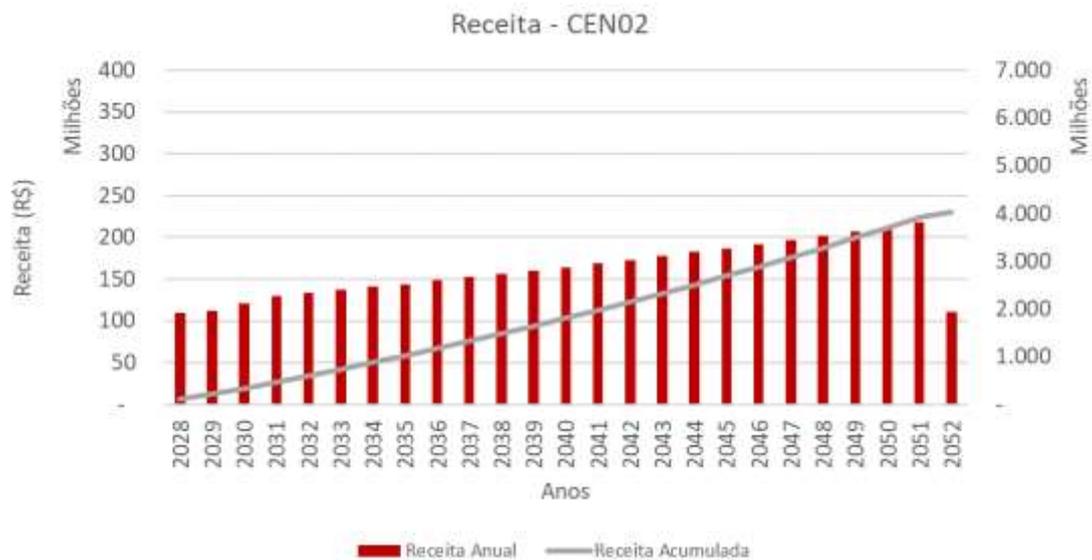


GRÁFICO 12: RECEITA ANUAL E RECEITA ACUMULADA PARA O CENÁRIO 02

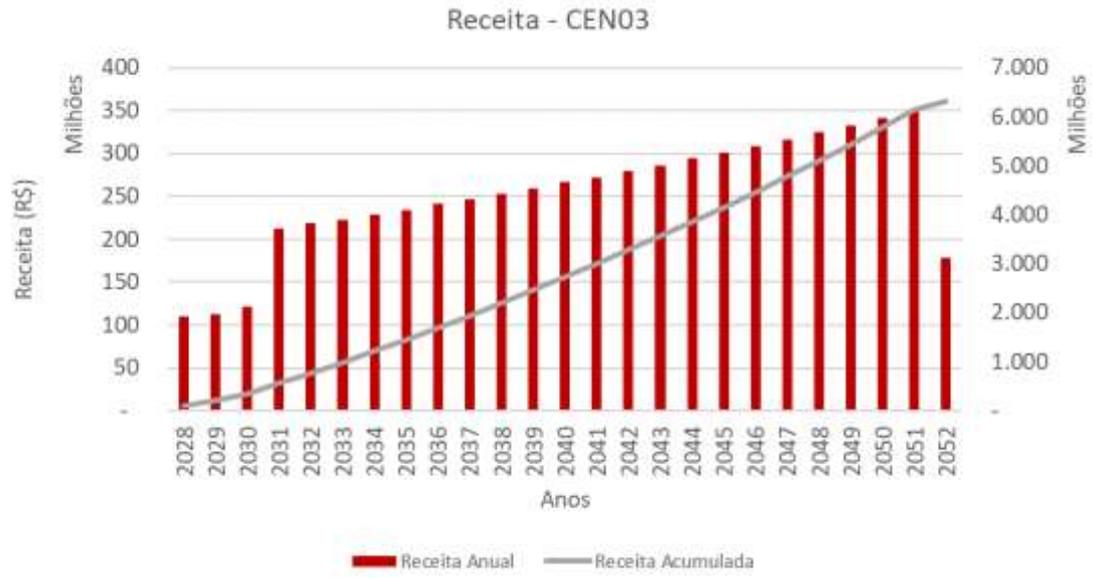


GRÁFICO 13: RECEITA ANUAL E RECEITA ACUMULADA PARA O CENÁRIO 03

10. Análise de capacidade

Nesta etapa do estudo foi realizada a análise de capacidade da via e definição dos níveis de serviço, utilizando os conceitos e metodologias do *Highway Capacity Manual* (HCM), versão 2010.

Para tanto, foi definida a divisão da via em estudo (trechos homogêneos) a ser adotada, do ponto de vista da avaliação da capacidade e nível de serviço à luz dos conceitos preconizados pela versão atualizada do HCM. Em seguida, foram calculados os níveis de serviço para cada um dos trechos homogêneos, a fim de avaliar suas condições atuais e futuras.

O nível de serviço é estipulado de acordo com a análise da adequação de uma determinada oferta de infraestrutura rodoviária à demanda atendida por ela. Para tanto, são utilizadas medidas quantitativas e qualitativas, que caracterizam as condições operacionais de um fluxo de tráfego e sua percepção pelos usuários. Os fatores analisados são velocidade, tempo de viagem, liberdade de manobra, interrupções de tráfego, conforto e conveniência.

Também serão definidos os critérios para realização de obras de ampliação da capacidade, que podem ser baseadas em um máximo de horas de operação com nível de serviço pior do que um padrão estabelecido ou no cálculo de gatilhos volumétricos.

A avaliação contemplou, além do cenário base, a evolução do tráfego ano a ano considerando os efeitos sobre a operação citados anteriormente, para cada trecho homogêneo. Assim, foi possível comparar os volumes de tráfego projetados e a transição para níveis de serviço insatisfatórios, determinando, assim, os anos em que as obras deverão ocorrer, para cada um dos cenários de análise.

10.1. Rodovias *Freeway*

O Rodoanel da RMBH foi projetado como *freeway*. Esse modelo prevê uma separação física entre as pistas, duas ou mais faixas de tráfego por sentido e controle total de acesso. O HCM descreve as condições operacionais associadas a cada nível de serviço, sendo essa descrição normalmente utilizada para ilustrar a diferença observada entre os níveis de serviço (TRB, 2010, tradução SYSTRA):

- **Nível de Serviço A:** descreve condição de fluxo completamente livre. A operação praticamente não é afetada pela presença de outros veículos, sendo condicionada apenas em função das características físicas da via e comportamento dos motoristas. Pequenas perturbações no fluxo são absorvidas sem que ocorra uma variação na velocidade média da corrente de tráfego;
- **Nível de Serviço B:** também indica fluxo livre, embora a presença de outros veículos se torna perceptível. A velocidade média é a mesma observada para o nível A, mas os motoristas têm uma liberdade de manobra ligeiramente inferior. Pequenas perturbações ainda são facilmente absorvidas, embora a deterioração no local do evento se torne perceptível;
- No **Nível de Serviço C**, a influência da densidade do tráfego se torna marcante. A possibilidade de manobra dentro da corrente de tráfego é claramente afetada pela presença de outros veículos. Pequenas perturbações na corrente de tráfego causam

séria deterioração do nível de serviço no local do evento, sendo que filas se formarão a montante de perturbações maiores;

- No **Nível de Serviço D**, as oportunidades de manobra são severamente restringidas devido ao maior volume de tráfego e a velocidade média do fluxo é reduzida. Apenas perturbações pequenas podem ser absorvidas sem que haja a formação de filas longas e deterioração do nível de serviço;
- **Nível de Serviço E**: representa uma operação próxima ou no limite da capacidade, com fluxo instável. A densidade do tráfego é variável, em função da velocidade da via e os veículos circulam com o mínimo espaçamento capaz de manter a corrente de tráfego uniforme. Perturbações no tráfego não podem ser facilmente dissipadas, geralmente levando à formação de congestionamentos (nível F);
- **Nível de Serviço F**: representa fluxo forçado ou interrompido e ocorre quando a demanda projetada para a infraestrutura viária é superior à capacidade ofertada. Embora a operação no ponto no qual há restrição de capacidade ocorra no limite no nível E, filas se formam à montante da via, com operação instável e alternância de movimento e paradas. Vale notar que o nível F pode ser usado para descrever o ponto no qual se inicia a formação do congestionamento, bem como a condição operacional da fila que se forma à montante.

O nível de serviço nas rodovias do tipo *freeway* relaciona-se diretamente com a densidade do tráfego (Tabela 28). A densidade pode ser calculada por meio do fluxo, em veículos equivalentes (carros de passeio) e da velocidade média. Em seguida, a Figura 30 mostra a relação entre fluxo-velocidade para esse tipo de rodovia.

TABELA 28: PARÂMETROS DO NÍVEL DE SERVIÇO

Nível de Serviço	Densidade (pc/km/ln)
A	≤ 6,9
B	> 6,9 - 11,3
C	> 11,3 - 16,3
D	> 16,3 - 21,9
E	> 21,9 - 28,1
F	> 28,1 ou demanda excede a capacidade

Fonte: HCM, 2010.

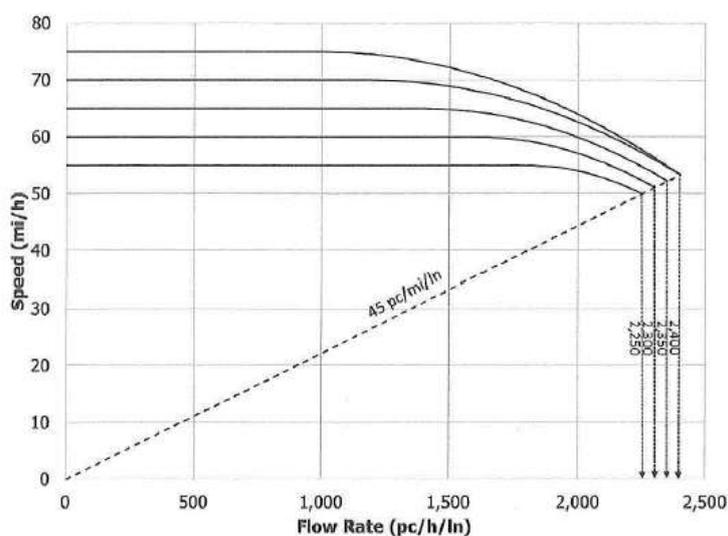


FIGURA 30: RELAÇÃO FLUXO-VELOCIDADE PARA RODOVIAS FREEWAY

10.2. Divisão dos Trechos Homogêneos

O rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte foi subdividido em 12 trechos homogêneos delimitados pelos acessos intermediários previstos. Foram considerados sub trechos homogêneos nos 12 THs do rodoanel. Os sub trechos tem extensão máxima de 3 quilômetros. A Tabela 29 contém a informação sobre todos os trechos.

TABELA 29: TRECHOS HOMOGÊNEOS

TH	Início	Fim	Trecho
TH01.1	BR-381/262, Caeté/MG	MG-020, Santa Luzia/MG	Norte
TH01.2			Norte
TH01.3			Norte
TH01.4			Norte
TH02.1	MG-020, Santa Luzia/MG	MG-010, Vespasiano/MG	Norte
TH02.2			Norte
TH02.3			Norte
TH02.4			Norte
TH02.5			Norte
TH03.1	MG-010, Vespasiano/MG	MG-424, Vespasiano/MG	Norte
TH04.1	MG-424, Vespasiano/MG	LMG-806, Ribeirão das Neves/MG	Norte
TH04.2			Norte
TH04.3			Norte

TH	Início	Fim	Trecho
TH04.4	MG-424, Vespasiano/MG	LMG-806, Ribeirão das Neves/MG	Norte
TH04.5			Norte
TH04.6			Norte
TH05.1	LMG-806, Ribeirão das Neves/MG	BR-040, Contagem/MG	Oeste
TH05.2			Oeste
TH05.3			Oeste
TH06.1	BR-040, Contagem/MG	LMG-808, Contagem/MG	Oeste
TH06.2			Oeste
TH07.1	LMG-808, Contagem/MG	Via Expressa de Betim, Betim/MG	Oeste
TH07.2			Oeste
TH07.3			Oeste
TH08.1	Via Expressa de Betim, Betim/MG	BR-381/262, Betim/MG	Oeste
TH08.2			Oeste
TH09.1	BR-381/262, Betim/MG	Contorno de Betim, Betim/MG	Oeste
TH09.2			Oeste
TH10.1	Contorno de Betim, Betim/MG	Av. Rio Manso, Ibité/MG	Sudoeste
TH10.2			Sudoeste
TH10.3			Sudoeste
TH11.1	Av. Rio Manso, Ibité/MG	Av. Balneária, Ibité/MG	Sudoeste
TH11.2			Sudoeste
TH12.1	MG-040	BR040	Sul

Para os cálculos de nível de serviço, adotou-se os seguintes parâmetros para toda a extensão da rodovia:

- Classificação: Freeway;
- Velocidade de Fluxo Livre: 100 km/h;
- Número de faixas no ano base: 2 faixas por sentido;
- Largura da faixa: 3,6 m;
- Fator K_n : 0,09;
- Fator Hora Pico (PHF_{15}): 0,88.

Nas seções a seguir serão apresentados os resultados das análises de nível de serviço para os cenários **descritos no item 5**.

10.3. Cenário 01

A tabela 30 mostra os resultados da projeção dos níveis de serviço para todo o período de análise, a partir do início da operação de pelo menos uma alça do Rodoanel (2028 até 2052) para o Cenário 01.

Ao analisar os níveis de serviço estimados, pode-se concluir que, para o período de análise, provavelmente, o gatilho de Nível de Serviço E não será atingido.

.

10.4. Cenário 02

A mesma análise foi realizada para o cenário 02. O resultado está apresentado na Tabela 31, observa-se que o gatilho de Nível de Serviço E não será atingido ao longo do período de concessão.

10.5. Cenário 03

A Tabela 32 apresenta a análise do nível de serviço no cenário 03 ao longo do período de concessão. Observa-se que o gatilho de Nível de Serviço E não será atingido

.

11. Cálculo do número N

A determinação do número “N” foi realizada, tanto pelo método USACE quanto pelo método AASHTO, seguindo as recomendações do Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006). O número “N” refere-se à quantidade de solicitações causada pelo tráfego de um eixo rodoviário padrão (8,2 t) ao longo do período de projeto no pavimento.

Este capítulo está estruturado nos seguintes subtítulos:

- Projeção do Volume Médio diário Anual (VMDA);
- Classificação e Carregamento da Frota;
- Cálculo dos Fatores médio de Veículo aplicados neste projeto;
- Percentual do tráfego na faixa mais carregada;
- Memória de Cálculo do Número N para os Trechos Homogêneos.

11.1. Projeção do Volume Médio Diário Anual (VMDA)

A partir do modelo de transporte foi possível obter o VDMA dos trechos homogêneos (THs) do Rodoanel da RMBH, para cada cenário estudado. As tabelas a seguir apresentam as projeções do volume diário de veículos pesados (ônibus e caminhões) de cada TH ao longo de 10 anos, por alça, a partir do ano do início da operação da respectiva alça.

11.1.1. Cenário 01

TABELA 33: PROJECAO DO VMDA POR SEGMENTO - NORTE

TH	Sentido	Praça	Alça	VMDA Comercial									
				2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
TH1	NS	1	Norte	324	332	339	347	355	364	372	381	390	399
TH1	SN	2	Norte	317	325	332	340	348	356	364	373	382	391
TH2	SN	3	Norte	185	189	193	198	202	207	212	217	222	227
TH2	NS	2	Norte	242	248	253	259	265	272	278	284	291	298
TH3	SN	4	Norte	590	603	617	632	647	662	677	693	709	726
TH3	NS	3	Norte	280	287	293	300	307	314	322	329	337	345
TH4	SN	5	Norte	375	384	393	402	412	421	431	441	451	462
TH4	NS	4	Norte	701	718	735	752	769	787	806	825	844	863

TABELA 34: PROJECAO DO VMDA POR SEGMENTO - OESTE

TH	Sentido	Praça	Alça	VDMA Comercial									
				2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
TH5	NS	5	Oeste	1528	1564	1600	1638	1676	1715	1755	1796	1838	1881
TH5	SN	6	Oeste	1757	1798	1840	1883	1927	1972	2018	2065	2113	2163
TH6	NS	6	Oeste	1470	1504	1539	1575	1612	1650	1688	1728	1768	1809
TH6	SN	7	Oeste	1444	1478	1512	1548	1584	1621	1659	1697	1737	1778
TH7	NS	7	Oeste	1223	1252	1281	1311	1341	1373	1405	1438	1471	1506
TH7	SN	8	Oeste	1556	1593	1630	1668	1707	1747	1788	1829	1872	1916
TH8	SN	9	Oeste	1529	1565	1601	1639	1677	1716	1756	1797	1839	1882
TH8	NS	8	Oeste	1223	1252	1281	1311	1341	1373	1405	1438	1471	1506
TH9	SN	10	Oeste	547	560	573	587	600	614	629	643	658	674
TH9	NS	9	Oeste	1223	1252	1281	1311	1341	1373	1405	1438	1471	1506

11.1.2. Cenário 02

TABELA 35: PROJECAO DO VMDA POR SEGMENTO – NORTE

TH	Sentido	Praça	Alça	VDMA Comercial									
				2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
TH1	NS	1	Norte	324	332	339	347	355	364	372	381	390	399
TH1	SN	2	Norte	317	325	332	340	348	356	364	373	382	391
TH2	SN	3	Norte	185	189	193	198	202	207	212	217	222	227
TH2	NS	2	Norte	242	248	253	259	265	272	278	284	291	298
TH3	SN	4	Norte	590	603	617	632	647	662	677	693	709	726
TH3	NS	3	Norte	280	287	293	300	307	314	322	329	337	345
TH4	SN	5	Norte	375	384	393	402	412	421	431	441	451	462
TH4	NS	4	Norte	701	718	735	752	769	787	806	825	844	863

TABELA 36: PROJECAO DO VMDA POR SEGMENTO – OESTE

TH	Sentido	Praça	Alça	VDMA Comercial									
				2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
TH5	NS	5	Oeste	1528	1564	1600	1638	1676	1715	1755	1796	1838	1881
TH5	SN	6	Oeste	1757	1798	1840	1883	1927	1972	2018	2065	2113	2163
TH6	NS	6	Oeste	1470	1504	1539	1575	1612	1650	1688	1728	1768	1809
TH6	SN	7	Oeste	1444	1478	1512	1548	1584	1621	1659	1697	1737	1778
TH7	NS	7	Oeste	1223	1252	1281	1311	1341	1373	1405	1438	1471	1506
TH7	SN	8	Oeste	1556	1593	1630	1668	1707	1747	1788	1829	1872	1916
TH8	SN	9	Oeste	1529	1565	1601	1639	1677	1716	1756	1797	1839	1882
TH8	NS	8	Oeste	1223	1252	1281	1311	1341	1373	1405	1438	1471	1506
TH9	SN	10	Oeste	547	560	573	587	600	614	629	643	658	674
TH9	NS	9	Oeste	1223	1252	1281	1311	1341	1373	1405	1438	1471	1506

TABELA 37: PROJECAO DO VMDA POR SEGMENTO – SUDOESTE

TH	Sentido	Praça	Alça	VDMA Comercial									
				2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
TH10	SN	11	Sudoeste	34	35	36	37	38	38	39	40	41	42
TH10	NS	10	Sudoeste	172	176	180	184	188	193	197	202	207	211
TH11	SN	12	Sudoeste	172	177	181	185	189	194	198	203	207	212
TH11	NS	11	Sudoeste	573	587	600	614	629	643	658	674	690	706

11.1.3. Cenário 03

CENÁRIO TABELA 38: PROJECAO DO VMDA POR SEGMENTO – NORTE

TH	Sentido	Praça	Alça	VDMA Comercial									
				2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
TH1	NS	1	Norte	324	332	339	347	355	364	372	381	390	399
TH1	SN	2	Norte	317	325	332	340	348	356	364	373	382	391
TH2	NS	3	Norte	242	248	253	259	265	272	278	284	291	298
TH2	SN	2	Norte	313	320	328	335	343	351	360	368	377	385
TH3	NS	4	Norte	412	421	431	441	452	462	473	484	495	507
TH3	SN	3	Norte	590	603	617	632	647	662	677	693	709	726
TH4	NS	5	Norte	701	718	735	752	769	787	806	825	844	863
TH4	SN	4	Norte	887	908	929	951	973	996	1.019	1.043	1.067	1.092

TABELA 39: PROJECAO DO VMDA POR SEGMENTO – OESTE

TH	Sentido	Praça	Alça	VDMA Comercial									
				2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
TH5	NS	5	Oeste	2.063	2.112	2.161	2.211	2.263	2.316	2.370	2.425	2.482	2.540
TH5	SN	6	Oeste	2.270	2.323	2.378	2.433	2.490	2.548	2.608	2.669	2.731	2.795
TH6	NS	6	Oeste	1.470	1.504	1.539	1.575	1.612	1.650	1.688	1.728	1.768	1.809
TH6	SN	7	Oeste	1.788	1.829	1.872	1.916	1.961	2.006	2.053	2.101	2.150	2.201
TH7	NS	7	Oeste	1.223	1.252	1.281	1.311	1.341	1.373	1.405	1.438	1.471	1.506
TH7	SN	8	Oeste	1.906	1.950	1.996	2.042	2.090	2.139	2.189	2.240	2.292	2.346
TH8	NS	9	Oeste	1.223	1.252	1.281	1.311	1.341	1.373	1.405	1.438	1.471	1.506
TH8	SN	8	Oeste	1.529	1.565	1.601	1.639	1.677	1.716	1.756	1.797	1.839	1.882
TH9	NS	10	Oeste	1.223	1.252	1.281	1.311	1.341	1.373	1.405	1.438	1.471	1.506
TH9	SN	9	Oeste	547	560	573	587	600	614	629	643	658	674

TABELA 40: PROJECAO DO VMDA POR SEGMENTO – SUDOESTE

TH	Sentido	Praça	Alça	VDMA Comercial									
				2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
TH10	NS	11	Sudoeste	172	176	180	184	188	193	197	202	207	211
TH10	SN	10	Sudoeste	172	177	181	185	189	194	198	203	207	212
TH11	NS	12	Sudoeste	573	587	600	614	629	643	658	674	690	706
TH11	SN	11	Sudoeste	614	628	643	658	673	689	705	721	738	755

TABELA 41: PROJECO DO VDMA POR SEGMENTO – SUL

TH	Sentido	Praça	Alça	VDMA Comercial									
				2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
TH12	NS	13	Sul	427	437	447	458	469	479	491	502	514	526
TH12	SN	12	Sul	617	632	647	662	677	693	709	726	743	760

11.2. Classificação e Carregamento da Frota

De acordo com a definição do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), a classe/tipo dos veículos é dividida em “leves”, “ônibus” e “comerciais”, como pode ser observado na tabela abaixo.

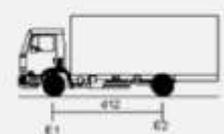
TABELA 42: DIVISÃO DOS VEÍCULOS EM CLASSE/TIPO DEFINIDA PELO DNIT

TIPOS DE VEÍCULOS										
CLASSE /TIPO		CONFIGURAÇÃO	TIPOS DE EIXOS				N EIXOS	N PNEUS	N UNIDADES	
			1º	2º	3º	4º				
LEVES	CARROS DE PASSEIO		simples rodas simples	simples rodas simples			2	4	1	
ÔNIBUS	ÔNIBUS (2C)		simples rodas simples	simples rodas duplas			2	6	1	
VEÍCULOS COMERCIAIS CAMINHÕES	CAMINHÃO LEVE	2C		simples rodas simples	simples rodas duplas			2	6	1
	CAMINHÕES MÉDIOS E PESADOS	3C		simples rodas simples	duplo tandem			3	10	1
	CAMINHÕES COM SEMI-REBOQUE (CARRETAS)	2S2		simples rodas simples	simples rodas duplas	duplo tandem		4	14	1
		2S3		simples rodas simples	simples rodas duplas	triplo tandem		5	18	1
		3S3		simples rodas simples	duplo tandem	triplo tandem		5	22	1
	“TREMINHÃO”	3S2S2		simples rodas simples	duplo tandem	duplo tandem	duplo tandem	7	26	2
	“TREMINHÃO”	3S3S3		simples rodas simples	duplo tandem	triplo tandem	triplo tandem	9	34	2

Fonte: DNIT, 2006.

Na tabela a seguir, a distribuição do carregamento por eixo de veículo é feita considerando o veículo carregado.

TABELA 43: DEFINIÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DO CARREGAMENTO POR EIXO DE VEÍCULO

	Tipo de Caminhão			
				
Configuração de Eixos	E1: Eixo Simples Roda Simples E2: Eixo Simples Roda Simples	E1: Eixo Simples Roda Simples E2: Eixo Simples Roda Dupla	E1: Eixo Simples Roda Simples E2-E3: Eixo em Tandem Duplo	E1: Eixo Simples Roda Simples E2: Eixo Simples Roda Dupla E3-E4-E5: Eixo em Tandem Triplo
PBT (Kg)	12.000	16.000	23.000	41.500
Carga Útil (Kg)	6.000	8.000	14.000	24.500
Tara (Kg)	6.000	8.000	9.000	17.000
Eixo Dianteiro (Kg)	3.000	3.000	3.000	3.000
Eixo Central (Kg)	-	-	-	5.000
Eixo Traseiro (Kg)	3.000	5.000	6.000	9.000

Fonte: DNIT, 2006.

O impacto sobre o pavimento de cada tipo-eixo é diferente. Por isso, o fator de carga (FC) é utilizado para converter qualquer classe/tipo de veículo em unidade de eixo padrão, correspondente à 8,2 t de carga. A tabela a seguir mostra os tipos de carga considerados nas duas metodologias.

TABELA 44: FATORES DE CARGA POR EIXO

Tipo de Eixo	Fatores de Carga					
	USACE - flexível			AASHTO - flexível		
	Carregado	Carregado + 10%	Vazio	Carregado	Carregado + 10%	Vazio
simples (roda simples)	0,278	0,408	0,017	0,327	0,494	0,016
simples (roda dupla)	3,290	5,971	0,134	2,394	3,614	0,120
tandem duplo (roda dupla)	8,549	14,418	0,080	1,642	2,437	0,022
tandem triplo (roda dupla)	9,300	15,827	0,128	1,560	2,332	0,019

Ao final, os fatores de eixo por veículo são combinados para calcular os fatores de veículo (FV). Como mostrado na tabela a seguir.

TABELA 45: FATORES DE VEÍCULO FV

Classificação		Fatores de Veículos por Tipo de Veículo					
		USACE - flexível			AASHTO - flexível		
Classe	Tipo	Carregado	Carregado + 10%	Vazio	Carregado	Carregado + 10%	Vazio
Auto	Auto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Comercial 2	2C	3,57	6,38	0,15	2,72	4,11	0,14
Comercial 3	3C	8,83	14,83	0,10	1,97	2,93	0,04
Comercial 4	2S2	12,12	20,80	0,23	4,36	6,55	0,16
Comercial 5	2S3	12,87	22,21	0,28	4,28	6,44	0,16
Comercial 6	3S3	18,13	30,65	0,23	3,53	5,26	0,06
Comercial 7	3S2S2	25,92	43,66	0,26	5,25	7,80	0,08
Comercial 9	3S3S3	27,43	46,48	0,35	5,09	7,60	0,08

11.3. Cálculo dos Fatores Médios de Veículo Aplicados neste Projeto

A partir dos fatores de veículos por classe, calculou-se o Fator de Veículo Médio do Projeto (FVp) para cada cenário.

As tabelas a seguir mostram a memória de cálculo do Fator de Veículo Médio utilizada nesse projeto (FVp) tanto pelo método USACE quanto pelo método AASHTO considerando-se a combinação de modelo tarifário (tarifa cheia ou quilométrica) com a política de restrição de circulação de veículos pesados (5 eixos ou mais) no Anel Rodoviário (sem ou com restrição). O cálculo do FVp é feito a partir da ponderação entre o FV das diferentes classes de veículos, considerando as respectivas participações no tráfego total, bem como da proporção entre veículos carregados e vazios.

O Percentual de veículos carregados e vazios foram retirados da Pesquisa OD do PNT de 2016/2017. Nessa pesquisa observou-se uma participação de 65% dos veículos carregados e 35% vazios.

11.3.1. Cenário 01

TABELA 46: FATOR DE VEÍCULO - NORTE

Classificação			Fator Veículo			
			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Classe	Tipo	Participação (Pi)	Carregado (FV ^c)	Vazio (FV ^v)	Carregado (FV ^c)	Vazio (FV ^v)
Comercial 2	2C	38%	3,6	0,2	2,7	0,1
Comercial 3	3C	26%	8,8	0,1	2,0	0,0
Comercial 4	2S2	0%	12,1	0,2	4,4	0,2
Comercial 5	2S3	32%	12,9	0,3	4,3	0,2
Comercial 6	3S3	0%	18,1	0,2	3,5	0,1
Comercial 7	3S2S2	4%	25,9	0,3	5,3	0,1
Comercial 9	3S3S3	0%	27,4	0,4	5,1	0,1
Fator Veículo Médio			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Veículos Carregados		65%	8,86		3,1	
Veículos Vazios		35%	0,2		0,1	
FV médio do Projeto (FV _p)			5,8		2,1	

TABELA 47: FATOR DE VEÍCULO - OESTE

Classificação			Fator Veículo			
			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Classe	Tipo	Participação (Pi)	Carregado (FV ^c)	Vazio (FV ^v)	Carregado (FV ^c)	Vazio (FV ^v)
Comercial 2	2C	31%	3,6	0,2	2,7	0,1
Comercial 3	3C	26%	8,8	0,1	2,0	0,0
Comercial 4	2S2	0%	12,1	0,2	4,4	0,2
Comercial 5	2S3	36%	12,9	0,3	4,3	0,2
Comercial 6	3S3	0%	18,1	0,2	3,5	0,1
Comercial 7	3S2S2	6%	25,9	0,3	5,3	0,1
Comercial 9	3S3S3	0%	27,4	0,4	5,1	0,1
Fator Veículo Médio			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Veículos Carregados		65%	9,7		3,2	
Veículos Vazios		35%	0,2		0,1	
FV médio do Projeto (FV _p)			6,3		2,1	

11.3.2. Cenário 02

TABELA 48: FATOR DE VEÍCULO - NORTE

Classificação			Fator Veículo			
			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Classe	Tipo	Participação (Pi)	Carregado (FV ^c)	Vazio (FV ^v)	Carregado (FV ^c)	Vazio (FV ^v)
Comercial 2	2C	38%	3,6	0,2	2,7	0,1
Comercial 3	3C	25%	8,8	0,1	2,0	0,0
Comercial 4	2S2	0%	12,1	0,2	4,4	0,2
Comercial 5	2S3	32%	12,9	0,3	4,3	0,2
Comercial 6	3S3	0%	18,1	0,2	3,5	0,1
Comercial 7	3S2S2	4%	25,9	0,3	5,3	0,1
Comercial 9	3S3S3	0%	27,4	0,4	5,1	0,1
Fator Veículo Médio			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Veículos Carregados		65%	8,9		3,1	
Veículos Vazios		35%	0,2		0,1	
FV médio do Projeto (FV _p)			5,8		2,1	

TABELA 49: FATOR DE VEÍCULO - OESTE

Classificação			Fator Veículo			
			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Classe	Tipo	Participação (Pi)	Carregado (FV ^c)	Vazio (FV ^v)	Carregado (FV ^c)	Vazio (FV ^v)
Comercial 2	2C	31%	3,6	0,2	2,7	0,1
Comercial 3	3C	26%	8,8	0,1	2,0	0,0
Comercial 4	2S2	0%	12,1	0,2	4,4	0,2
Comercial 5	2S3	36%	12,9	0,3	4,3	0,2
Comercial 6	3S3	0%	18,1	0,2	3,5	0,1
Comercial 7	3S2S2	6%	25,9	0,3	5,3	0,1
Comercial 9	3S3S3	0%	27,4	0,4	5,1	0,1
Fator Veículo Médio			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Veículos Carregados		65%	9,6		3,2	
Veículos Vazios		35%	0,2		0,1	
FV médio do Projeto (FV _p)			6,3		2,1	

TABELA 50: FATOR DE VEÍCULO - SUDOESTE

Classificação			Fator Veículo			
			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Classe	Tipo	Participação (Pi)	Carregado (FV _c)	Vazio (FV _v)	Carregado (FV _c)	Vazio (FV _v)
Comercial 2	2C	39%	3,6	0,2	2,7	0,1
Comercial 3	3C	26%	8,8	0,1	2,0	0,0
Comercial 4	2S2	0%	12,1	0,2	4,4	0,2
Comercial 5	2S3	30%	12,9	0,3	4,3	0,2
Comercial 6	3S3	0%	18,1	0,2	3,5	0,1
Comercial 7	3S2S2	5%	25,9	0,3	5,3	0,1
Comercial 9	3S3S3	0%	27,4	0,4	5,1	0,1
			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Veículos Carregados		65%	8,8		3,1	
Veículos Vazios		35%	0,2		0,1	
FV médio do Projeto (FV _p)			5,8		2,1	

11.3.3. Cenário 03

TABELA 51: FATOR DE VEÍCULO - NORTE

Classificação			Fator Veículo			
			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Classe	Tipo	Participação (Pi)	Carregado (FV _c)	Vazio (FV _v)	Carregado (FV _c)	Vazio (FV _v)
Comercial 2	2C	16%	3,6	0,2	2,7	0,1
Comercial 3	3C	10%	8,8	0,1	2,0	0,0
Comercial 4	2S2	0%	12,1	0,2	4,4	0,2
Comercial 5	2S3	61%	12,9	0,3	4,3	0,2
Comercial 6	3S3	0%	18,1	0,2	3,5	0,1
Comercial 7	3S2S2	12%	25,9	0,3	5,3	0,1
Comercial 9	3S3S3	0%	27,4	0,4	5,1	0,1
Fator Veículo Médio			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Veículos Carregados		65%	12,6		3,9	
Veículos Vazios		35%	0,2		0,1	
FV médio do Projeto (FV _p)			8,3		2,6	

TABELA 52: FATOR DE VEÍCULO - OESTE

Classificação			Fator Veículo			
			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Classe	Tipo	Participação (Pi)	Carregado (FV _c)	Vazio (FV _v)	Carregado (FV _c)	Vazio (FV _v)
Comercial 2	2C	21%	3,6	0,2	2,7	0,1
Comercial 3	3C	17%	8,8	0,1	2,0	0,0
Comercial 4	2S2	0%	12,1	0,2	4,4	0,2
Comercial 5	2S3	54%	12,9	0,3	4,3	0,2
Comercial 6	3S3	0%	18,1	0,2	3,5	0,1
Comercial 7	3S2S2	9%	25,9	0,3	5,3	0,1
Comercial 9	3S3S3	0%	27,4	0,4	5,1	0,1
Fator Veículo Médio			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Veículos Carregados		65%	11,5		3,7	
Veículos Vazios		35%	0,2		0,1	
FV médio do Projeto (FV _p)			7,5		2,4	

TABELA 53: FATOR DE VEÍCULO - SUDOESTE

Classificação			Fator Veículo			
			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Classe	Tipo	Participação (Pi)	Carregado (FV _c)	Vazio (FV _v)	Carregado (FV _c)	Vazio (FV _v)
Comercial 2	2C	20%	3,6	0,2	2,7	0,1
Comercial 3	3C	13%	8,8	0,1	2,0	0,0
Comercial 4	2S2	0%	12,1	0,2	4,4	0,2
Comercial 5	2S3	60%	12,9	0,3	4,3	0,2
Comercial 6	3S3	0%	18,1	0,2	3,5	0,1
Comercial 7	3S2S2	7%	25,9	0,3	5,3	0,1
Comercial 9	3S3S3	0%	27,4	0,4	5,1	0,1
Fator Veículo Médio			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Veículos Carregados		65%	11,5		3,7	
Veículos Vazios		35%	0,2		0,1	
FV médio do Projeto (FV _p)			7,5		2,5	

TABELA 54: FATOR DE VEÍCULO - SUL

Classificação			Fator Veículo			
			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Classe	Tipo	Participação (P _i)	Carregado (FV _c ⁱ)	Vazio (FV _v ⁱ)	Carregado (FV _c ⁱ)	Vazio (FV _v ⁱ)
Comercial 2	2C	0%	3,6	0,2	2,7	0,1
Comercial 3	3C	0%	8,8	0,1	2,0	0,0
Comercial 4	2S2	0%	12,1	0,2	4,4	0,2
Comercial 5	2S3	0%	12,9	0,3	4,3	0,2
Comercial 6	3S3	0%	18,1	0,2	3,5	0,1
Comercial 7	3S2S2	0%	25,9	0,3	5,3	0,1
Comercial 9	3S3S3	0%	27,4	0,4	5,1	0,1
Fator Veículo Médio			(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
Veículos Carregados		65%	0,0		0,0	
Veículos Vazios		35%	0,0		0,0	
FV médio do Projeto (FV _p)			0,0		0,0	

11.4. Percentual do tráfego na faixa mais carregada

Para se estimar o percentual do carregamento da seção que solicita a faixa de projeto (faixa da direita), foram utilizados os valores normalizados pelo DNIT

TABELA 55: CARREGAMENTO NA FAIXA DE PROJETO

Número de faixas da seção (por sentido)	C
1 (rodovia de pista simples)	50%
2 (rodovia de pista dupla)	35% a 48%
3 ou mais	25% a 48%

Fonte: DNIT, 2006.

11.5. Cálculo do Número N

Após estabelecer todas as premissas do cálculo do número N, é possível obter os resultados, utilizando as duas metodologias: USACE e AASHTO.

Os valores do Número N foram obtidos somando-se os valores obtidos por classe de veículo e ano, conforme mostra a fórmula abaixo:

$$N = \sum N_{ai} \quad N_{ai} = VDMA_{ai} \times FV_{ai} \times C$$

Sendo:

- N_{ai} = número N por ano a e classe de veículo pesado i ;
- $VDMA_{ai}$ = volume diário médio anual por ano a e classe de veículo pesado i ;
- FV_{ai} = "fator de veículo" i no ano a - f (tipo e número eixos (FC));

- **C** = percentual do tráfego na faixa mais carregada, tomada como faixa de projeto.

As tabelas a seguir apresentam a memória de cálculo do Número N pelo Método USACE e pelo método AASHTO, para a seção mais carregada de cada cenário. As análises foram divididas por alças, devido ao faseamento proposto nos cenários.

Os cálculos foram realizados considerando-se um horizonte de dez anos a partir do início da concessão.

11.5.1. Cálculo Número N para o TH mais carregado

11.5.1.1. Cenário 01

TABELA 56: CÁLCULO NÚMERO N (TH MAIS CARREGADO) – NORTE

TH	Ano	VDMA Comercial	(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
			Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado	Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado
TH4-NS	2028	701	1,0E+06	1,0E+06	3,7E+05	3,7E+05
	2029	718	1,1E+06	2,1E+06	3,8E+05	7,5E+05
	2030	735	1,1E+06	3,2E+06	3,9E+05	1,1E+06
	2031	752	1,1E+06	4,3E+06	4,0E+05	1,5E+06
	2032	769	1,1E+06	5,5E+06	4,1E+05	2,0E+06
	2033	787	1,2E+06	6,6E+06	4,2E+05	2,4E+06
	2034	806	1,2E+06	7,8E+06	4,3E+05	2,8E+06
	2035	825	1,2E+06	9,1E+06	4,4E+05	3,2E+06
	2036	844	1,3E+06	1,0E+07	4,5E+05	3,7E+06
	2037	863	1,3E+06	1,2E+07	4,6E+05	4,1E+06

TABELA 57: CÁLCULO NÚMERO N (TH MAIS CARREGADO) – OESTE

TH	Ano	VDMA Comercial	(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
			Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado	Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado
TH5-SN	2028	1.757	2,8E+06	2,8E+06	9,6E+05	9,6E+05
	2029	1.798	2,9E+06	5,8E+06	9,9E+05	1,9E+06
	2030	1.840	3,0E+06	8,7E+06	1,0E+06	3,0E+06
	2031	1.883	3,1E+06	1,2E+07	1,0E+06	4,0E+06
	2032	1.927	3,1E+06	1,5E+07	1,1E+06	5,0E+06
	2033	1.972	3,2E+06	1,8E+07	1,1E+06	6,1E+06
	2034	2.018	3,3E+06	2,1E+07	1,1E+06	7,2E+06
	2035	2.065	3,3E+06	2,5E+07	1,1E+06	8,4E+06
	2036	2.113	3,4E+06	2,8E+07	1,2E+06	9,5E+06
	2037	2.163	3,5E+06	3,2E+07	1,2E+06	1,1E+07

11.5.1.2. Cenário 02

TABELA 58: CÁLCULO NÚMERO N (TH MAIS CARREGADO) - NORTE

TH	Ano	VDMA Comercial	(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
			Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado	Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado
TH4-NS	2028	701	1,0E+06	1,0E+06	1,0E+06	2028
	2029	718	1,1E+06	2,1E+06	3,8E+05	2029
	2030	735	1,1E+06	3,2E+06	3,9E+05	2030
	2031	752	1,1E+06	4,3E+06	4,0E+05	2031
	2032	769	1,1E+06	5,5E+06	4,0E+05	2032
	2033	787	1,2E+06	6,6E+06	4,1E+05	2033
	2034	806	1,2E+06	7,8E+06	4,2E+05	2034
	2035	825	1,2E+06	9,1E+06	4,3E+05	2035
	2036	844	1,3E+06	1,0E+07	4,4E+05	2036
	2037	863	1,3E+06	1,2E+07	4,5E+05	2037

TABELA 59: CÁLCULO NÚMERO N (TH MAIS CARREGADO) - OESTE

TH	Ano	VDMA Comercial	(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
			Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado	Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado
TH5-SN	2028	1.757	2,8E+06	2,8E+06	2,8E+06	2028
	2029	1.798	2,9E+06	5,8E+06	9,8E+05	2029
	2030	1.840	3,0E+06	8,7E+06	1,0E+06	2030
	2031	1.883	3,1E+06	1,2E+07	1,0E+06	2031
	2032	1.927	3,1E+06	1,5E+07	1,0E+06	2032
	2033	1.972	3,2E+06	1,8E+07	1,1E+06	2033
	2034	2.018	3,3E+06	2,1E+07	1,1E+06	2034
	2035	2.065	3,3E+06	2,5E+07	1,1E+06	2035
	2036	2.113	3,4E+06	2,8E+07	1,1E+06	2036
	2037	2.163	3,5E+06	3,2E+07	1,2E+06	2037

TABELA 60: CÁLCULO NÚMERO N (TH MAIS CARREGADO) - SUDOESTE

TH	Ano	VDMA Comercial	(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
			Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado	Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado
TH11-NS	2030	573	8,5E+05	8,5E+05	3,0E+05	3,0E+05
	2031	587	8,7E+05	1,7E+06	3,1E+05	6,1E+05
	2032	600	8,9E+05	2,6E+06	3,2E+05	9,3E+05
	2033	614	9,1E+05	3,5E+06	3,2E+05	1,3E+06
	2034	629	9,3E+05	4,4E+06	3,3E+05	1,6E+06
	2035	643	9,5E+05	5,4E+06	3,4E+05	1,9E+06
	2036	658	9,8E+05	6,4E+06	3,5E+05	2,3E+06
	2037	674	1,0E+06	7,4E+06	3,6E+05	2,6E+06
	2038	690	1,0E+06	8,4E+06	3,6E+05	3,0E+06
	2039	706	1,0E+06	9,4E+06	3,7E+05	3,4E+06

11.5.1.3. Cenário 03

TABELA 61: CÁLCULO NÚMERO N (TH MAIS CARREGADO) - NORTE

TH	Ano	VDMA Comercial	(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
			Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado	Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado
TH04_NS	2028	701	1,5E+06	1,5E+06	4,6E+05	4,6E+05
	2029	718	1,5E+06	3,0E+06	4,8E+05	9,4E+05
	2030	726	1,5E+06	4,5E+06	4,8E+05	1,4E+06
	2031	1.428	3,0E+06	7,5E+06	9,5E+05	2,4E+06
	2032	1.462	3,1E+06	1,1E+07	9,7E+05	3,3E+06
	2033	1.496	3,2E+06	1,4E+07	9,9E+05	4,3E+06
	2034	1.531	3,2E+06	1,7E+07	1,0E+06	5,3E+06
	2035	1.567	3,3E+06	2,0E+07	1,0E+06	6,4E+06
	2036	1.603	3,4E+06	2,4E+07	1,1E+06	7,4E+06
	2037	1.641	3,5E+06	2,7E+07	1,1E+06	8,5E+06

TABELA 62: CÁLCULO NÚMERO N (TH MAIS CARREGADO) - OESTE

TH	Ano	VDMA Comercial	(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
			Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado	Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado
TH06_SN	2028	1.788	3,4E+06	3,4E+06	1,1E+06	1,1E+06
	2029	1.829	3,5E+06	6,9E+06	1,1E+06	2,2E+06
	2030	1.853	3,6E+06	1,1E+07	1,1E+06	3,4E+06
	2031	2.850	5,5E+06	1,6E+07	1,8E+06	5,2E+06
	2032	2.917	5,6E+06	2,2E+07	1,8E+06	7,0E+06
	2033	2.985	5,7E+06	2,7E+07	1,8E+06	8,8E+06
	2034	3.054	5,9E+06	3,3E+07	1,9E+06	1,1E+07
	2035	3.126	6,0E+06	3,9E+07	1,9E+06	1,3E+07
	2036	3.199	6,1E+06	4,5E+07	2,0E+06	1,5E+07
	2037	3.273	6,3E+06	5,2E+07	2,0E+06	1,7E+07

TABELA 63: CÁLCULO NÚMERO N (TH MAIS CARREGADO) – SUDOESTE

TH	Ano	VDMA Comercial	(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
			Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado	Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado
TH11_SN	2030	614	1,2E+06	1,2E+06	3,9E+05	3,9E+05
	2031	1.138	2,2E+06	3,4E+06	7,2E+05	1,1E+06
	2032	1.165	2,2E+06	5,6E+06	7,4E+05	1,8E+06
	2033	1.192	2,3E+06	7,9E+06	7,5E+05	2,6E+06
	2034	1.220	2,3E+06	1,0E+07	7,7E+05	3,4E+06
	2035	1.249	2,4E+06	1,3E+07	7,9E+05	4,2E+06
	2036	1.278	2,5E+06	1,5E+07	8,1E+05	5,0E+06
	2037	1.308	2,5E+06	1,8E+07	8,3E+05	5,8E+06
	2038	1.338	2,6E+06	2,0E+07	8,5E+05	6,6E+06
	2039	1.369	2,6E+06	2,3E+07	8,7E+05	7,5E+06

TABELA 64: CÁLCULO NÚMERO N (TH MAIS CARREGADO) - SUL

TH	Ano	VDMA Comercial	(Usace - Flexível)		(AASHTO - Flexível)	
			Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado	Número N anual (Na = 365.c.VDMA.FVp)	Número N Acumulado
TH12_SN	2031	617	1,2E+06	1,2E+06	4,1E+05	4,1E+05
	2032	632	1,3E+06	2,5E+06	4,2E+05	8,3E+05
	2033	647	1,3E+06	3,8E+06	4,3E+05	1,3E+06
	2034	662	1,3E+06	5,1E+06	4,4E+05	1,7E+06
	2035	677	1,4E+06	6,5E+06	4,5E+05	2,2E+06
	2036	693	1,4E+06	7,9E+06	4,6E+05	2,6E+06
	2037	709	1,4E+06	9,3E+06	4,7E+05	3,1E+06
	2038	726	1,5E+06	1,1E+07	4,8E+05	3,6E+06
	2039	743	1,5E+06	1,2E+07	4,9E+05	4,1E+06
	2040	760	1,5E+06	1,4E+07	5,1E+05	4,6E+06

11.5.2. Número N acumulado

As tabelas a seguir mostram o resultado do cálculo do Número N para todos os THs, 10 anos a partir do início da operação de suas respectivas alças, tanto pelo Método USACE quanto pelo Método AASHTO.

11.5.2.1. Cenário 01

TABELA 65: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO USACE – NORTE

TH	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2028 a 2037
TH1-NS	4,8E+05	9,7E+05	1,5E+06	2,0E+06	2,5E+06	3,1E+06	3,6E+06	4,2E+06	4,8E+06	5,4E+06	5,4E+06
TH1-SN	4,7E+05	9,5E+05	1,4E+06	2,0E+06	2,5E+06	3,0E+06	3,5E+06	4,1E+06	4,7E+06	5,2E+06	5,2E+06
TH2-SN	2,7E+05	5,5E+05	8,4E+05	1,1E+06	1,4E+06	1,7E+06	2,1E+06	2,4E+06	2,7E+06	3,0E+06	3,0E+06
TH2-NS	3,6E+05	7,3E+05	1,1E+06	1,5E+06	1,9E+06	2,3E+06	2,7E+06	3,1E+06	3,6E+06	4,0E+06	4,0E+06
TH3-SN	8,8E+05	1,8E+06	2,7E+06	3,6E+06	4,6E+06	5,6E+06	6,6E+06	7,6E+06	8,7E+06	9,7E+06	9,7E+06
TH3-NS	4,2E+05	8,4E+05	1,3E+06	1,7E+06	2,2E+06	2,6E+06	3,1E+06	3,6E+06	4,1E+06	4,6E+06	4,6E+06
TH4-SN	5,6E+05	1,1E+06	1,7E+06	2,3E+06	2,9E+06	3,5E+06	4,2E+06	4,8E+06	5,5E+06	6,2E+06	6,2E+06
TH4-NS	1,0E+06	2,1E+06	3,2E+06	4,3E+06	5,5E+06	6,6E+06	7,8E+06	9,1E+06	1,0E+07	1,2E+07	1,2E+07

TABELA 66: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO AASHTO – NORTE

TH	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2028 a 2037
TH1-NS	1,7E+05	3,5E+05	5,3E+05	7,1E+05	9,0E+05	1,1E+06	1,3E+06	1,5E+06	1,7E+06	1,9E+06	1,9E+06
TH1-SN	1,7E+05	3,4E+05	5,2E+05	7,0E+05	8,8E+05	1,1E+06	1,3E+06	1,5E+06	1,7E+06	1,9E+06	1,9E+06
TH2-SN	9,8E+04	2,0E+05	3,0E+05	4,1E+05	5,1E+05	6,2E+05	7,4E+05	8,5E+05	9,7E+05	1,1E+06	1,1E+06
TH2-NS	1,3E+05	2,6E+05	3,9E+05	5,3E+05	6,7E+05	8,2E+05	9,7E+05	1,1E+06	1,3E+06	1,4E+06	1,4E+06
TH3-SN	3,1E+05	6,3E+05	9,6E+05	1,3E+06	1,6E+06	2,0E+06	2,4E+06	2,7E+06	3,1E+06	3,5E+06	3,5E+06
TH3-NS	1,5E+05	3,0E+05	4,6E+05	6,2E+05	7,8E+05	9,5E+05	1,1E+06	1,3E+06	1,5E+06	1,7E+06	1,7E+06
TH4-SN	2,0E+05	4,0E+05	6,1E+05	8,3E+05	1,0E+06	1,3E+06	1,5E+06	1,7E+06	2,0E+06	2,2E+06	2,2E+06
TH4-NS	3,7E+05	7,5E+05	1,1E+06	1,5E+06	2,0E+06	2,4E+06	2,8E+06	3,2E+06	3,7E+06	4,1E+06	4,1E+06

TABELA 67: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO USACE – OESTE

TH	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2028 a 2037
TH5-NS	2,5E+06	5,0E+06	7,6E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,6E+07	1,9E+07	2,2E+07	2,4E+07	2,8E+07	2,8E+07
TH5-SN	2,8E+06	5,8E+06	8,7E+06	1,2E+07	1,5E+07	1,8E+07	2,1E+07	2,5E+07	2,8E+07	3,2E+07	3,2E+07
TH6-NS	2,4E+06	4,8E+06	7,3E+06	9,9E+06	1,2E+07	1,5E+07	1,8E+07	2,1E+07	2,4E+07	2,6E+07	2,6E+07
TH6-SN	2,3E+06	4,7E+06	7,2E+06	9,7E+06	1,2E+07	1,5E+07	1,8E+07	2,0E+07	2,3E+07	2,6E+07	2,6E+07
TH7-NS	2,0E+06	4,0E+06	6,1E+06	8,2E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,5E+07	1,7E+07	2,0E+07	2,2E+07	2,2E+07
TH7-SN	2,5E+06	5,1E+06	7,7E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,6E+07	1,9E+07	2,2E+07	2,5E+07	2,8E+07	2,8E+07
TH8-SN	2,5E+06	5,0E+06	7,6E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,6E+07	1,9E+07	2,2E+07	2,4E+07	2,8E+07	2,8E+07
TH8-NS	2,0E+06	4,0E+06	6,1E+06	8,2E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,5E+07	1,7E+07	2,0E+07	2,2E+07	2,2E+07
TH9-SN	8,9E+05	1,8E+06	2,7E+06	3,7E+06	4,6E+06	5,6E+06	6,7E+06	7,7E+06	8,8E+06	9,9E+06	9,9E+06
TH9-NS	2,0E+06	4,0E+06	6,1E+06	8,2E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,5E+07	1,7E+07	2,0E+07	2,2E+07	2,2E+07

TABELA 68: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO AASHTO – OESTE

TH	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2028 a 2037
TH5-NS	8,4E+05	1,7E+06	2,6E+06	3,5E+06	4,4E+06	5,3E+06	6,3E+06	7,3E+06	8,3E+06	9,3E+06	9,3E+06
TH5-SN	9,6E+05	1,9E+06	3,0E+06	4,0E+06	5,0E+06	6,1E+06	7,2E+06	8,4E+06	9,5E+06	1,1E+07	1,1E+07
TH6-NS	8,1E+05	1,6E+06	2,5E+06	3,3E+06	4,2E+06	5,1E+06	6,1E+06	7,0E+06	8,0E+06	9,0E+06	9,0E+06
TH6-SN	7,9E+05	1,6E+06	2,4E+06	3,3E+06	4,1E+06	5,0E+06	5,9E+06	6,9E+06	7,8E+06	8,8E+06	8,8E+06
TH7-NS	6,7E+05	1,4E+06	2,1E+06	2,8E+06	3,5E+06	4,3E+06	5,0E+06	5,8E+06	6,6E+06	7,5E+06	7,5E+06
TH7-SN	8,5E+05	1,7E+06	2,6E+06	3,5E+06	4,5E+06	5,4E+06	6,4E+06	7,4E+06	8,4E+06	9,5E+06	9,5E+06
TH8-SN	8,4E+05	1,7E+06	2,6E+06	3,5E+06	4,4E+06	5,3E+06	6,3E+06	7,3E+06	8,3E+06	9,3E+06	9,3E+06
TH8-NS	6,7E+05	1,4E+06	2,1E+06	2,8E+06	3,5E+06	4,3E+06	5,0E+06	5,8E+06	6,6E+06	7,5E+06	7,5E+06
TH9-SN	3,0E+05	6,1E+05	9,2E+05	1,2E+06	1,6E+06	1,9E+06	2,3E+06	2,6E+06	3,0E+06	3,3E+06	3,3E+06
TH9-NS	6,7E+05	1,4E+06	2,1E+06	2,8E+06	3,5E+06	4,3E+06	5,0E+06	5,8E+06	6,6E+06	7,5E+06	7,5E+06

11.5.2.2. Cenário 02**TABELA 69: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO USACE – NORTE**

TH	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2028 a 2037
TH1-NS	4,8E+05	9,7E+05	1,5E+06	2,0E+06	2,5E+06	3,1E+06	3,6E+06	4,2E+06	4,8E+06	5,4E+06	5,4E+06
TH1-SN	4,7E+05	9,5E+05	1,4E+06	2,0E+06	2,5E+06	3,0E+06	3,5E+06	4,1E+06	4,7E+06	5,2E+06	5,2E+06
TH2-SN	2,7E+05	5,5E+05	8,4E+05	1,1E+06	1,4E+06	1,7E+06	2,1E+06	2,4E+06	2,7E+06	3,0E+06	3,0E+06
TH2-NS	3,6E+05	7,3E+05	1,1E+06	1,5E+06	1,9E+06	2,3E+06	2,7E+06	3,1E+06	3,6E+06	4,0E+06	4,0E+06
TH3-SN	8,8E+05	1,8E+06	2,7E+06	3,6E+06	4,6E+06	5,6E+06	6,6E+06	7,6E+06	8,7E+06	9,7E+06	9,7E+06
TH3-NS	4,2E+05	8,4E+05	1,3E+06	1,7E+06	2,2E+06	2,6E+06	3,1E+06	3,6E+06	4,1E+06	4,6E+06	4,6E+06
TH4-SN	5,6E+05	1,1E+06	1,7E+06	2,3E+06	2,9E+06	3,5E+06	4,2E+06	4,8E+06	5,5E+06	6,2E+06	6,2E+06
TH4-NS	1,0E+06	2,1E+06	3,2E+06	4,3E+06	5,5E+06	6,6E+06	7,8E+06	9,1E+06	1,0E+07	1,2E+07	1,2E+07

TABELA 70: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO AASHTO – NORTE

TH	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2028 a 2037
TH1-NS	1,7E+05	3,5E+05	5,3E+05	7,1E+05	9,0E+05	1,1E+06	1,3E+06	1,5E+06	1,7E+06	1,9E+06	1,9E+06
TH1-SN	1,7E+05	3,4E+05	5,2E+05	7,0E+05	8,8E+05	1,1E+06	1,3E+06	1,5E+06	1,7E+06	1,9E+06	1,9E+06
TH2-SN	9,8E+04	2,0E+05	3,0E+05	4,1E+05	5,1E+05	6,2E+05	7,4E+05	8,5E+05	9,7E+05	1,1E+06	1,1E+06
TH2-NS	1,3E+05	2,6E+05	3,9E+05	5,3E+05	6,7E+05	8,2E+05	9,7E+05	1,1E+06	1,3E+06	1,4E+06	1,4E+06
TH3-SN	3,1E+05	6,3E+05	9,6E+05	1,3E+06	1,6E+06	2,0E+06	2,4E+06	2,7E+06	3,1E+06	3,5E+06	3,5E+06
TH3-NS	1,5E+05	3,0E+05	4,6E+05	6,2E+05	7,8E+05	9,5E+05	1,1E+06	1,3E+06	1,5E+06	1,7E+06	1,7E+06
TH4-SN	2,0E+05	4,0E+05	6,1E+05	8,3E+05	1,0E+06	1,3E+06	1,5E+06	1,7E+06	2,0E+06	2,2E+06	2,2E+06
TH4-NS	3,7E+05	7,5E+05	1,1E+06	1,5E+06	2,0E+06	2,4E+06	2,8E+06	3,2E+06	3,7E+06	4,1E+06	4,1E+06

TABELA 71: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO USACE – OESTE

TH	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2028 a 2037
TH5-NS	2,5E+06	5,0E+06	7,6E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,6E+07	1,9E+07	2,2E+07	2,4E+07	2,8E+07	2,8E+07
TH5-SN	2,8E+06	5,8E+06	8,7E+06	1,2E+07	1,5E+07	1,8E+07	2,1E+07	2,5E+07	2,8E+07	3,2E+07	3,2E+07
TH6-NS	2,4E+06	4,8E+06	7,3E+06	9,9E+06	1,2E+07	1,5E+07	1,8E+07	2,1E+07	2,4E+07	2,6E+07	2,6E+07
TH6-SN	2,3E+06	4,7E+06	7,2E+06	9,7E+06	1,2E+07	1,5E+07	1,8E+07	2,0E+07	2,3E+07	2,6E+07	2,6E+07
TH7-NS	2,0E+06	4,0E+06	6,1E+06	8,2E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,5E+07	1,7E+07	2,0E+07	2,2E+07	2,2E+07
TH7-SN	2,5E+06	5,1E+06	7,7E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,6E+07	1,9E+07	2,2E+07	2,5E+07	2,8E+07	2,8E+07
TH8-SN	2,5E+06	5,0E+06	7,6E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,6E+07	1,9E+07	2,2E+07	2,4E+07	2,8E+07	2,8E+07
TH8-NS	2,0E+06	4,0E+06	6,1E+06	8,2E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,5E+07	1,7E+07	2,0E+07	2,2E+07	2,2E+07
TH9-SN	8,9E+05	1,8E+06	2,7E+06	3,7E+06	4,6E+06	5,6E+06	6,7E+06	7,7E+06	8,8E+06	9,9E+06	9,9E+06
TH9-NS	2,0E+06	4,0E+06	6,1E+06	8,2E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,5E+07	1,7E+07	2,0E+07	2,2E+07	2,2E+07

TABELA 72: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO AASHTO – OESTE

TH	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2028 a 2037
TH5-NS	8,4E+05	1,7E+06	2,6E+06	3,5E+06	4,4E+06	5,3E+06	6,3E+06	7,3E+06	8,3E+06	9,3E+06	9,3E+06
TH5-SN	9,6E+05	1,9E+06	3,0E+06	4,0E+06	5,0E+06	6,1E+06	7,2E+06	8,4E+06	9,5E+06	1,1E+07	1,1E+07
TH6-NS	8,1E+05	1,6E+06	2,5E+06	3,3E+06	4,2E+06	5,1E+06	6,1E+06	7,0E+06	8,0E+06	9,0E+06	9,0E+06
TH6-SN	7,9E+05	1,6E+06	2,4E+06	3,3E+06	4,1E+06	5,0E+06	5,9E+06	6,9E+06	7,8E+06	8,8E+06	8,8E+06
TH7-NS	6,7E+05	1,4E+06	2,1E+06	2,8E+06	3,5E+06	4,3E+06	5,0E+06	5,8E+06	6,6E+06	7,5E+06	7,5E+06
TH7-SN	8,5E+05	1,7E+06	2,6E+06	3,5E+06	4,5E+06	5,4E+06	6,4E+06	7,4E+06	8,4E+06	9,5E+06	9,5E+06
TH8-SN	8,4E+05	1,7E+06	2,6E+06	3,5E+06	4,4E+06	5,3E+06	6,3E+06	7,3E+06	8,3E+06	9,3E+06	9,3E+06
TH8-NS	6,7E+05	1,4E+06	2,1E+06	2,8E+06	3,5E+06	4,3E+06	5,0E+06	5,8E+06	6,6E+06	7,5E+06	7,5E+06
TH9-SN	3,0E+05	6,1E+05	9,2E+05	1,2E+06	1,6E+06	1,9E+06	2,3E+06	2,6E+06	3,0E+06	3,3E+06	3,3E+06
TH9-NS	6,7E+05	1,4E+06	2,1E+06	2,8E+06	3,5E+06	4,3E+06	5,0E+06	5,8E+06	6,6E+06	7,5E+06	7,5E+06

TABELA 73: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO USACE – SUDOESTE

TH	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2030 a 2039
TH10-SN	5,1E+04	1,0E+05	1,6E+05	2,1E+05	2,7E+05	3,2E+05	3,8E+05	4,4E+05	5,0E+05	5,6E+05	5,6E+05
TH10-NS	2,5E+05	5,1E+05	7,8E+05	1,1E+06	1,3E+06	1,6E+06	1,9E+06	2,2E+06	2,5E+06	2,8E+06	2,8E+06
TH11-SN	2,6E+05	5,2E+05	7,8E+05	1,1E+06	1,3E+06	1,6E+06	1,9E+06	2,2E+06	2,5E+06	2,8E+06	2,8E+06
TH11-NS	8,5E+05	1,7E+06	2,6E+06	3,5E+06	4,4E+06	5,4E+06	6,4E+06	7,4E+06	8,4E+06	9,4E+06	9,4E+06

TABELA 74: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO AASHTO – SUDOESTE

TH	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2030 a 2039
TH10-SN	1,8E+04	3,7E+04	5,6E+04	7,5E+04	9,5E+04	1,2E+05	1,4E+05	1,6E+05	1,8E+05	2,0E+05	2,0E+05
TH10-NS	9,1E+04	1,8E+05	2,8E+05	3,8E+05	4,7E+05	5,8E+05	6,8E+05	7,9E+05	9,0E+05	1,0E+06	1,0E+06
TH11-SN	9,1E+04	1,8E+05	2,8E+05	3,8E+05	4,8E+05	5,8E+05	6,8E+05	7,9E+05	9,0E+05	1,0E+06	1,0E+06
TH11-NS	3,0E+05	6,1E+05	9,3E+05	1,3E+06	1,6E+06	1,9E+06	2,3E+06	2,6E+06	3,0E+06	3,4E+06	3,4E+06

11.5.2.3. Cenário 03

TABELA 75: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO USACE – NORTE

TH	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2028 a 2037
TH01_NS	6,8E+05	1,4E+06	2,1E+06	3,7E+06	5,4E+06	7,1E+06	8,9E+06	1,1E+07	1,2E+07	1,4E+07	1,4E+07
TH01_SN	6,7E+05	1,4E+06	2,1E+06	3,5E+06	4,9E+06	6,4E+06	7,9E+06	9,4E+06	1,1E+07	1,3E+07	1,3E+07
TH02_NS	5,1E+05	1,0E+06	1,6E+06	3,0E+06	4,5E+06	6,1E+06	7,6E+06	9,2E+06	1,1E+07	1,3E+07	1,3E+07
TH02_SN	6,6E+05	1,3E+06	2,0E+06	3,4E+06	4,9E+06	6,3E+06	7,8E+06	9,4E+06	1,1E+07	1,3E+07	1,3E+07
TH03_NS	8,7E+05	1,8E+06	2,7E+06	4,7E+06	6,7E+06	8,8E+06	1,1E+07	1,3E+07	1,5E+07	1,8E+07	1,8E+07
TH03_SN	1,2E+06	2,5E+06	3,8E+06	5,9E+06	8,1E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,5E+07	1,7E+07	2,0E+07	2,0E+07
TH04_NS	1,5E+06	3,0E+06	4,5E+06	7,5E+06	1,1E+07	1,4E+07	1,7E+07	2,0E+07	2,4E+07	2,7E+07	2,7E+07
TH04_SN	1,9E+06	3,8E+06	5,7E+06	8,7E+06	1,2E+07	1,5E+07	1,8E+07	2,1E+07	2,5E+07	2,8E+07	2,8E+07

TABELA 76: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO AASHTO – NORTE

TH	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2028 a 2037
TH01_NS	2,1E+05	4,3E+05	6,6E+05	1,2E+06	1,7E+06	2,2E+06	2,8E+06	3,3E+06	3,9E+06	4,5E+06	4,5E+06
TH01_SN	2,1E+05	4,2E+05	6,5E+05	1,1E+06	1,5E+06	2,0E+06	2,5E+06	3,0E+06	3,5E+06	4,0E+06	4,0E+06
TH02_NS	1,6E+05	3,2E+05	4,9E+05	9,5E+05	1,4E+06	1,9E+06	2,4E+06	2,9E+06	3,4E+06	3,9E+06	3,9E+06
TH02_SN	2,1E+05	4,2E+05	6,3E+05	1,1E+06	1,5E+06	2,0E+06	2,5E+06	2,9E+06	3,4E+06	3,9E+06	3,9E+06
TH03_NS	2,7E+05	5,5E+05	8,3E+05	1,5E+06	2,1E+06	2,8E+06	3,4E+06	4,1E+06	4,8E+06	5,5E+06	5,5E+06
TH03_SN	3,9E+05	7,9E+05	1,2E+06	1,9E+06	2,5E+06	3,2E+06	3,9E+06	4,7E+06	5,4E+06	6,2E+06	6,2E+06
TH04_NS	4,6E+05	9,4E+05	1,4E+06	2,4E+06	3,3E+06	4,3E+06	5,3E+06	6,4E+06	7,4E+06	8,5E+06	8,5E+06
TH04_SN	5,9E+05	1,2E+06	1,8E+06	2,7E+06	3,7E+06	4,7E+06	5,7E+06	6,7E+06	7,8E+06	8,8E+06	8,8E+06

TABELA 77: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO USACE – OESTE

TH	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2028 a 2037
TH05_NS	4,0E+06	8,0E+06	1,2E+07	1,7E+07	2,2E+07	2,7E+07	3,2E+07	3,7E+07	4,2E+07	4,8E+07	4,8E+07
TH05_SN	4,4E+06	8,8E+06	1,3E+07	1,8E+07	2,3E+07	2,8E+07	3,3E+07	3,8E+07	4,4E+07	4,9E+07	4,9E+07
TH06_NS	2,8E+06	5,7E+06	8,5E+06	1,4E+07	1,9E+07	2,4E+07	2,9E+07	3,5E+07	4,1E+07	4,6E+07	4,6E+07
TH06_SN	3,4E+06	6,9E+06	1,1E+07	1,6E+07	2,2E+07	2,7E+07	3,3E+07	3,9E+07	4,5E+07	5,2E+07	5,2E+07
TH07_NS	2,3E+06	4,8E+06	7,1E+06	1,2E+07	1,6E+07	2,1E+07	2,6E+07	3,1E+07	3,6E+07	4,1E+07	4,1E+07
TH07_SN	3,7E+06	7,4E+06	1,1E+07	1,6E+07	2,1E+07	2,7E+07	3,2E+07	3,8E+07	4,3E+07	4,9E+07	4,9E+07
TH08_NS	2,3E+06	4,8E+06	7,1E+06	1,2E+07	1,6E+07	2,1E+07	2,6E+07	3,1E+07	3,6E+07	4,1E+07	4,1E+07
TH08_SN	2,9E+06	5,9E+06	9,1E+06	1,4E+07	1,9E+07	2,4E+07	3,0E+07	3,5E+07	4,0E+07	4,6E+07	4,6E+07
TH09_NS	2,3E+06	4,8E+06	7,1E+06	1,2E+07	1,6E+07	2,1E+07	2,6E+07	3,1E+07	3,6E+07	4,1E+07	4,1E+07
TH09_SN	1,1E+06	2,1E+06	3,7E+06	6,3E+06	9,0E+06	1,2E+07	1,5E+07	1,7E+07	2,0E+07	2,3E+07	2,3E+07

TABELA 78: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO AASHTO – OESTE

TH	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2028 a 2037
TH05_NS	1,3E+06	2,6E+06	3,9E+06	5,4E+06	7,0E+06	8,6E+06	1,0E+07	1,2E+07	1,4E+07	1,5E+07	1,5E+07
TH05_SN	1,4E+06	2,8E+06	4,3E+06	5,9E+06	7,4E+06	9,0E+06	1,1E+07	1,2E+07	1,4E+07	1,6E+07	1,6E+07
TH06_NS	9,1E+05	1,8E+06	2,8E+06	4,4E+06	6,0E+06	7,7E+06	9,5E+06	1,1E+07	1,3E+07	1,5E+07	1,5E+07
TH06_SN	1,1E+06	2,2E+06	3,4E+06	5,2E+06	7,0E+06	8,8E+06	1,1E+07	1,3E+07	1,5E+07	1,7E+07	1,7E+07
TH07_NS	7,6E+05	1,5E+06	2,3E+06	3,7E+06	5,2E+06	6,8E+06	8,3E+06	9,9E+06	1,2E+07	1,3E+07	1,3E+07
TH07_SN	1,2E+06	2,4E+06	3,6E+06	5,2E+06	6,9E+06	8,6E+06	1,0E+07	1,2E+07	1,4E+07	1,6E+07	1,6E+07
TH08_NS	7,6E+05	1,5E+06	2,3E+06	3,7E+06	5,2E+06	6,8E+06	8,3E+06	9,9E+06	1,2E+07	1,3E+07	1,3E+07

TH08_SN	9,5E+05	1,9E+06	2,9E+06	4,5E+06	6,1E+06	7,8E+06	9,5E+06	1,1E+07	1,3E+07	1,5E+07	1,5E+07
TH09_NS	7,6E+05	1,5E+06	2,3E+06	3,7E+06	5,2E+06	6,8E+06	8,3E+06	9,9E+06	1,2E+07	1,3E+07	1,3E+07
TH09_SN	3,4E+05	6,9E+05	1,2E+06	2,0E+06	2,9E+06	3,8E+06	4,7E+06	5,6E+06	6,5E+06	7,5E+06	7,5E+06

TABELA 79: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO USACE – SUDOESTE

TH	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2030 a 2039
TH10_NS	3,3E+05	1,3E+06	2,2E+06	3,2E+06	4,2E+06	5,3E+06	6,3E+06	7,4E+06	8,5E+06	9,6E+06	9,6E+06
TH10_SN	3,3E+05	1,2E+06	2,1E+06	3,0E+06	4,0E+06	4,9E+06	5,9E+06	6,9E+06	8,0E+06	9,0E+06	9,0E+06
TH11_NS	1,1E+06	2,9E+06	4,7E+06	6,5E+06	8,4E+06	1,0E+07	1,2E+07	1,4E+07	1,7E+07	1,9E+07	1,9E+07
TH11_SN	1,2E+06	3,4E+06	5,6E+06	7,9E+06	1,0E+07	1,3E+07	1,5E+07	1,8E+07	2,0E+07	2,3E+07	2,3E+07

TABELA 80: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO AASHTO – SUDOESTE

TH	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2030 a 2039
TH10_NS	1,1E+05	4,2E+05	7,4E+05	1,1E+06	1,4E+06	1,7E+06	2,1E+06	2,4E+06	2,8E+06	3,2E+06	3,2E+06
TH10_SN	1,1E+05	4,0E+05	7,0E+05	1,0E+06	1,3E+06	1,6E+06	2,0E+06	2,3E+06	2,6E+06	3,0E+06	3,0E+06
TH11_NS	3,6E+05	9,5E+05	1,5E+06	2,2E+06	2,8E+06	3,4E+06	4,1E+06	4,7E+06	5,4E+06	6,1E+06	6,1E+06
TH11_SN	3,9E+05	1,1E+06	1,8E+06	2,6E+06	3,4E+06	4,2E+06	5,0E+06	5,8E+06	6,6E+06	7,5E+06	7,5E+06

TABELA 81: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO USACE – SUL

TH	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2031 a 2040
TH12_NS	8,6E+05	1,7E+06	2,6E+06	3,6E+06	4,5E+06	5,5E+06	6,4E+06	7,5E+06	8,5E+06	9,5E+06	9,5E+06
TH12_SN	1,2E+06	2,5E+06	3,8E+06	5,1E+06	6,5E+06	7,9E+06	9,3E+06	1,1E+07	1,2E+07	1,4E+07	1,4E+07

TABELA 82: RESULTADO NÚMERO N POR TH - MÉTODO AASHTO – SUL

TH	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2031 a 2040
TH12_NS	2,8E+05	5,8E+05	8,7E+05	1,2E+06	1,5E+06	1,8E+06	2,1E+06	2,5E+06	2,8E+06	3,2E+06	3,2E+06
TH12_SN	4,1E+05	8,3E+05	1,3E+06	1,7E+06	2,2E+06	2,6E+06	3,1E+06	3,6E+06	4,1E+06	4,6E+06	4,6E+06

12. Conclusões

Nesse estudo foram apresentados os resultados de projeção de demanda de tráfego e receita para o projeto do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte. Destaca-se que as simulações realizadas consideraram as seguintes premissas:

- As alças (Norte, Oeste, Sudoeste e Sul) serão implementadas de acordo com a Tabela 83:

TABELA 83: INAUGURAÇÃO DAS ALÇAS DO RODOANEL E OS RESPECTIVOS CENÁRIOS

Cenário/Alça	Oeste	Norte	Sudoeste	Sul
Cenário 01	Janeiro 2028	Janeiro 2028	-	-
Cenário 02	Janeiro 2028	Janeiro 2028	Julho de 2030	-
Cenário 03	Janeiro 2028	Janeiro 2028	Julho de 2030	Julho de 2031

- Traçado apresentado no capítulo 3 desse relatório;
- Alterações na infraestrutura rodoviária do entorno de acordo com as indicadas no item 5.1, validadas pelo Governo do Estado de Minas Gerais;
- Tarifa base de R\$ 0,35/km, com análise do pedagiamento considerando a tarifa quilométrica.

Qualquer alteração nessas considerações pode gerar resultados significativamente diferentes dos apresentados para a demanda ou receita do Rodoanel da RMBH.

Um dos benefícios que a implantação do Rodoanel da RMBH pode gerar é a atração das viagens de atravessamento da região que atualmente utilizam o Anel Rodoviário de Belo Horizonte, e com isso:

- Separar tráfego urbano e rodoviário (principalmente veículos de carga e de atravessamento);
- Diminuir os congestionamentos no Anel Rodoviário e os tempos de deslocamentos urbanos;
- Reduzir os acidentes no Anel Rodoviário de Belo Horizonte.

Visando incentivar/potencializar a migração das viagens de carga e de atravessamento para o futuro Rodoanel Metropolitano, é possível implantar medidas de regulamentação que limitem o tráfego desses veículos no Anel Rodoviário de Belo Horizonte. Nesse estudo se avaliou o impacto de tais medidas na demanda do Rodoanel da RMBH, simulando cenários que consideram a proibição de veículos pesados de atravessamento no Anel Rodoviário de Belo Horizonte.

Além disso, foi analisado o pedagiamento usando a tarifa quilométrica que é onde o usuário paga apenas pela quilometragem que utiliza, tendo como tarifa base R\$ 0,35/km.

As simulações realizadas permitem concluir que:

- A demanda adicional atraída pelo pedagiamento quilométrico é de tráfego de curta distância, não tendo perfil de viagens de atravessamento. Portanto, políticas públicas

devem ser pensadas de forma que esses conflitos entre usuários urbanos e rodoviários sejam sanados no Anel Rodoviário de Belo Horizonte e não venham a se repetir no Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte.

- A alteração do traçado da Alça Sul simulada nessa fase após a primeira fase de audiência pública, em comparação com o traçado diretriz, atrai veículos de passeio para a alça, uma vez que a rodovia está mais próxima da mancha urbana da RMBH.

É importante destacar que a implantação da restrição de veículos pesados no Anel Rodoviário de Belo Horizonte deve ser pensando operacionalmente, criando mecanismos para permitir que as indústrias localizadas ao longo desse anel possam receber insumos e escoar sua produção. E que essa restrição é extremamente importante para garantir a segregação do tráfego urbano e rodoviário, diminuindo os congestionamentos e os acidentes no Anel Rodoviário de Belo Horizonte.

Para esse estudo foi considerado a ampliação da capacidade com gatilho **nível de serviço E**. Em nenhum dos cenários avaliados foi identificada a necessidade de obras de ampliação de capacidade durante o período de concessão.

13. Bibliografia

ANDRADE, Gustavo Riente. **CAPACIDADE E RELAÇÃO FLUXO-VELOCIDADE EM AUTOESTRADAS E RODOVIAS DE PISTA DUPLA PAULISTAS**. Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2012.

BESSA JR., José Elievam. **CARACTERIZAÇÃO DO FLUXO DE TRÁFEGO EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES DO ESTADO DE SÃO PAULO**. Escola de engenharia de São Carlos, São Paulo, 2009.

CUPOLILLO, M. T. A..(2006) **ESTUDO DAS MEDIDAS MODERADORAS DO TRÁFEGO PARA CONTROLE DA VELOCIDADE E DOS CONFLITOS EM TRAVESSIAS URBANAS**. Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2006.

CNIDS – Centro Integrado de Informações da Defesa Social (2014). **DIAGNÓSTICO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO DE MINAS GERAIS – 2012/2013: MINAS GERAIS**. http://www.seguranca.mg.gov.br/images/seds_docs/estatisticas/Estatisticas_transito/estatisticas%20de%20transito%202012-13.pdf. Acessado em 16/12/2018.

CNIDS – Centro Integrado de Informações da Defesa Social (2015). **DIAGNÓSTICO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO DE MINAS GERAIS – 2013/2014: MINAS GERAIS**. http://www.seguranca.mg.gov.br/images/seds_docs/estatisticas/Estatisticas_transito/Acidentes%20de%20transito-anos%2013%20e%2014.pdf. Acessado em 16/12/2018.

CNIDS – Centro Integrado de Informações da Defesa Social (2016). **DIAGNÓSTICO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO DE MINAS GERAIS – 2014/2015: MINAS GERAIS**. http://www.seguranca.mg.gov.br/images/seds_docs/estatisticas/Estatisticas_transito/2016.04.15_CINDS_SEDS-MG_DIAGNOSTICO_DE_ACIDENTES_DE_TRANSITO_MG_2014-2015.pdf. Acessado em 16/12/2018.

Governo do Estado de Minas Gerais (2017). **DIAGNÓSTICO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO DE MINAS GERAIS – 2015/2016: MINAS GERAIS**. http://www.seguranca.mg.gov.br/images/2017/Setembro/OSPC_SESP-MG_DIAGNOSTICO_DE_ACIDENTES_DE_TRANSITO_MG_2015-2016.pdf. Acessado em 16/12/2018.

Anexo I

TABELA 84: ÍNDICE ABCR – BRASIL

	LEVES	PESADOS	TOTAL
jan/99	117,67	94,29	112,44
fev/99	98,32	87,93	96,00
mar/99	95,98	107,94	98,65
abr/99	97,19	98,21	97,42
mai/99	96,21	101,90	97,48
jun/99	91,70	97,52	93,00
jul/99	103,67	95,53	101,85
ago/99	94,62	104,95	96,93
set/99	94,58	101,08	96,03
out/99	100,20	103,94	101,03
nov/99	95,92	101,68	97,21
dez/99	113,96	105,04	111,96
jan/00	115,35	95,19	110,84
fev/00	94,33	95,69	94,64
mar/00	101,65	103,51	102,06
abr/00	99,45	99,76	99,52
mai/00	93,44	101,13	95,16
jun/00	91,80	100,49	93,74
jul/00	98,29	101,99	99,12
ago/00	89,00	106,43	92,90
set/00	90,68	100,90	92,97
out/00	95,70	105,90	97,98
nov/00	92,89	104,68	95,52
dez/00	111,83	104,92	110,28
jan/01	116,90	98,66	112,82
fev/01	97,29	90,77	95,84
mar/01	94,20	112,33	98,25
abr/01	97,09	104,70	98,79
mai/01	90,78	110,40	95,16
jun/01	90,29	104,70	93,51
jul/01	98,56	110,19	101,16
ago/01	91,81	115,72	97,16
set/01	91,31	106,33	94,67
out/01	95,23	115,22	99,70
nov/01	95,55	109,82	98,74
dez/01	108,42	105,44	107,75
jan/02	111,95	104,19	110,22
fev/02	94,08	97,05	94,74
mar/02	101,65	111,94	103,94
abr/02	91,05	112,86	95,92
mai/02	94,88	113,28	98,99
jun/02	86,62	108,23	91,45
jul/02	99,27	117,75	103,40
ago/02	95,42	120,70	101,07
set/02	91,65	117,79	97,49
out/02	96,97	125,40	103,32

	LEVES	PESADOS	TOTAL
nov/02	97,81	114,10	101,45
dez/02	110,68	111,10	110,77
jan/03	108,87	104,41	107,87
fev/03	90,99	100,67	93,15
mar/03	94,04	110,23	97,65
abr/03	93,43	111,03	97,36
mai/03	91,08	116,09	96,67
jun/03	88,46	110,10	93,30
jul/03	95,15	118,60	100,39
ago/03	90,16	116,94	96,15
set/03	88,34	117,73	94,91
out/03	94,80	124,39	101,41
nov/03	92,81	115,67	97,92
dez/03	111,89	116,37	112,89
jan/04	109,19	108,67	109,08
fev/04	95,65	104,52	97,63
mar/04	91,69	125,53	99,26
abr/04	95,36	118,34	100,49
mai/04	92,47	121,49	98,96
jun/04	89,25	119,93	96,11
jul/04	100,39	125,64	106,03
ago/04	94,20	129,67	102,13
set/04	95,54	126,70	102,50
out/04	99,46	124,85	105,14
nov/04	96,88	122,26	102,55
dez/04	114,60	124,11	116,72
jan/05	113,68	111,74	113,24
fev/05	96,36	107,86	98,93
mar/05	101,37	126,91	107,08
abr/05	95,79	120,34	101,27
mai/05	97,85	124,23	103,75
jun/05	92,27	125,26	99,64
jul/05	105,39	123,41	109,42
ago/05	98,47	129,87	105,48
set/05	94,32	123,44	100,82
out/05	98,34	123,36	103,93
nov/05	99,00	122,21	104,18
dez/05	117,01	124,24	118,62
jan/06	118,57	113,70	117,48
fev/06	98,02	107,46	100,13
mar/06	99,33	128,44	105,83
abr/06	101,14	115,95	104,45
mai/06	96,15	125,46	102,70
jun/06	91,19	120,53	97,75
jul/06	105,04	125,39	109,59
ago/06	98,52	132,42	106,10
set/06	99,62	125,44	105,39
out/06	102,56	129,49	108,58
nov/06	103,19	127,42	108,61
dez/06	122,65	125,45	123,28

	LEVES	PESADOS	TOTAL
jan/07	120,36	119,78	120,23
fev/07	103,77	110,95	105,37
mar/07	104,32	134,03	110,96
abr/07	105,28	121,33	108,87
mai/07	101,18	131,61	107,98
jun/07	100,57	126,60	106,39
jul/07	110,83	131,62	115,47
ago/07	105,74	140,98	113,61
set/07	109,87	132,59	114,95
out/07	112,14	143,13	119,07
nov/07	110,79	133,85	115,94
dez/07	128,94	129,17	128,99
jan/08	127,34	129,40	127,80
fev/08	110,70	122,94	113,44
mar/08	116,02	133,98	120,04
abr/08	109,67	136,35	115,63
mai/08	114,63	138,03	119,86
jun/08	107,20	137,68	114,01
jul/08	120,92	146,31	126,60
ago/08	113,72	140,93	119,78
set/08	110,83	143,35	118,11
out/08	115,73	146,21	122,54
nov/08	115,65	132,49	119,41
dez/08	135,33	128,07	133,70
jan/09	130,45	117,62	127,57
fev/09	114,18	113,10	113,92
mar/09	113,23	134,77	118,05
abr/09	117,87	129,67	120,49
mai/09	116,53	134,03	120,43
jun/09	110,84	131,04	115,34
jul/09	121,82	136,10	124,99
ago/09	117,71	135,50	121,66
set/09	118,41	137,28	122,61
out/09	127,59	143,17	131,04
nov/09	121,86	137,55	125,36
dez/09	142,61	138,79	141,75
jan/10	137,56	126,22	135,03
fev/10	118,38	126,79	120,32
mar/10	120,37	153,96	128,01
abr/10	121,80	143,60	126,84
mai/10	123,13	152,70	129,97
jun/10	117,06	146,27	123,75
jul/10	131,89	151,03	136,23
ago/10	127,23	156,87	134,07
set/10	127,66	155,39	134,01
out/10	133,40	156,29	138,64
nov/10	132,64	150,96	136,75
dez/10	154,18	152,30	153,81
jan/11	151,62	139,80	149,00
fev/11	123,40	142,54	128,00

	LEVES	PESADOS	TOTAL
mar/11	135,20	157,44	139,93
abr/11	136,19	150,81	139,43
mai/11	129,09	162,91	136,97
jun/11	129,18	155,89	135,19
jul/11	140,05	161,02	144,82
ago/11	132,57	167,65	140,75
set/11	131,78	162,97	138,98
out/11	137,97	162,97	143,73
nov/11	137,08	159,29	142,15
dez/11	158,51	157,53	158,37
jan/12	156,74	146,51	154,53
fev/12	140,20	144,60	140,97
mar/12	138,22	167,88	144,75
abr/12	140,03	152,97	142,73
mai/12	135,11	164,62	141,89
jun/12	132,63	156,20	137,84
jul/12	147,18	162,47	150,51
ago/12	139,79	176,36	148,31
set/12	143,28	163,95	147,80
out/12	145,18	174,40	151,96
nov/12	147,15	164,51	150,96
dez/12	166,64	153,33	163,40
jan/13	163,18	156,78	161,94
fev/13	137,19	144,42	138,68
mar/13	148,84	163,91	151,65
abr/13	136,98	169,78	144,63
mai/13	144,33	169,92	150,09
jun/13	137,23	163,38	143,06
jul/13	153,64	171,77	157,66
ago/13	149,19	176,95	155,44
set/13	147,01	171,21	152,40
out/13	153,27	179,71	159,33
nov/13	157,37	164,56	158,58
dez/13	174,38	154,95	169,61
jan/14	174,96	156,10	170,62
fev/14	144,82	158,47	147,90
mar/14	155,45	161,32	155,91
abr/14	153,86	159,92	154,80
mai/14	149,68	165,52	152,97
jun/14	143,25	150,65	144,38
jul/14	150,55	165,58	153,80
ago/14	157,10	165,43	158,42
set/14	150,24	165,35	153,34
out/14	158,52	174,27	161,88
nov/14	157,98	159,69	157,81
dez/14	182,16	153,09	174,97
jan/15	177,84	147,92	170,73
fev/15	147,35	133,73	143,57
mar/15	149,64	163,27	152,09
abr/15	153,81	149,93	152,28

	LEVES	PESADOS	TOTAL
mai/15	149,66	153,03	149,82
jun/15	146,13	147,98	145,84
jul/15	158,02	156,40	157,08
ago/15	152,84	157,02	153,13
set/15	151,04	154,26	151,14
out/15	160,22	160,10	159,57
nov/15	148,58	147,86	147,83
dez/15	175,57	144,61	167,90
jan/16	170,64	133,04	161,57
fev/16	149,61	134,93	145,55
mar/16	151,65	151,26	150,54
abr/16	147,01	145,20	146,02
mai/16	145,94	144,19	144,83
jun/16	136,26	143,80	137,47
jul/16	158,26	145,46	154,62
ago/16	145,43	148,15	145,40
set/16	143,63	143,48	142,94
out/16	150,66	141,29	147,73
nov/16	147,78	138,41	144,85
dez/16	173,51	138,20	164,73
jan/17	172,20	129,13	161,72
fev/17	144,66	127,98	140,10
mar/17	151,32	149,89	149,94
abr/17	150,95	132,69	145,85
mai/17	146,93	149,52	146,90
jun/17	145,20	141,54	143,56
jul/17	161,77	149,14	158,17
ago/17	147,20	154,43	148,29
set/17	153,37	148,20	151,39
out/17	155,39	152,32	154,01
nov/17	151,19	145,46	149,16
dez/17	178,16	141,39	169,01
jan/18	174,87	137,69	165,91
fev/18	145,26	130,47	141,18
mar/18	155,33	151,44	153,31
abr/18	151,38	147,02	149,73
mai/18	131,67	114,08	126,68
jun/18	134,52	153,84	138,66
jul/18	157,32	154,56	156,18
ago/18	146,27	159,41	148,85
set/18	150,97	148,13	149,58
out/18	151,88	157,31	152,64
nov/18	154,28	148,29	152,17
dez/18	180,08	141,20	170,39
jan/19	179,94	143,58	171,20
fev/19	141,15	140,72	140,73
mar/19	157,93	146,45	153,99
abr/19	151,03	148,25	149,77
mai/19	149,24	155,53	150,14
jun/19	147,16	143,04	145,41

	LEVES	PESADOS	TOTAL
jul/19	161,23	160,71	160,64
ago/19	151,55	159,34	152,75
set/19	155,08	155,17	154,41
out/19	161,76	166,37	162,28
nov/19	159,44	152,16	156,98
dez/19	181,73	143,65	172,25