



ESTUDO DE TRÁFEGO

Rodovias PA-150, PA-475, PA-252, PA-151, PA-483
e Alça Viária do Pará



Projeto nº: I-594

Novembro/2022

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	13
2	INFORMAÇÕES GERAIS	17
2.1	AUTOR.....	17
3	APRESENTAÇÃO DAS RODOVIAS EM ESTUDO E ÁREA DE INFLUÊNCIA.....	18
3.1	SISTEMA VIÁRIO EM ESTUDO – CONTEXTUALIZAÇÃO	21
3.2	SISTEMA VIÁRIO EM ESTUDO – CENÁRIO ATUAL/BASE.....	23
3.3	SISTEMA VIÁRIO EM ESTUDO – CENÁRIO TENDENCIAL.....	24
3.4	SISTEMA VIÁRIO EM ESTUDO – CENÁRIO PESSIMISTA	25
4	METODOLOGIA DOS TRABALHOS	26
4.1	LEVANTAMENTO DE CAMPO: PESQUISAS DE TRÁFEGO	26
4.1.1	<i>Contagens Classificadas de Veículos (CCV).....</i>	26
4.1.2	<i>Pesquisa de preferência declarada e Origem e Destino (OD).....</i>	31
4.1.3	<i>Pesquisa de preferência declarada.....</i>	37
4.2	PROCESSAMENTO DAS PESQUISAS	42
4.2.1	<i>Obtenção do VDM (Volume Médio Diário).....</i>	42
4.2.2	<i>Obtenção do VHP (volume horário de projeto)</i>	45
4.3	OBTENÇÃO DA MATRIZ ORIGEM-DESTINO	46
4.4	CALIBRAÇÕES DO MODELO LOGIT	47
4.5	CENÁRIOS DE ALTERAÇÃO DA DEMANDA.....	51
4.5.1	<i>Expansão do Tráfego Anual.....</i>	51
4.6	AVALIAÇÃO DE NÍVEL DE SERVIÇO	53
4.6.1	<i>Rodovias de duas faixas com sentidos de tráfego contrários (pista simples)</i>	56

4.6.2	<i>Cálculo dos Níveis de Serviço por patamares</i>	60
4.7	DIMENSIONAMENTO DAS CABINES DAS PRAÇAS	60
4.7.1	<i>Método</i>	60
4.8	ESTIMATIVA DE NÚMERO N	61
4.8.1	<i>Introdução</i>	61
4.8.2	<i>Contagem Classificada de Veículos (CCV)</i>	62
4.8.3	<i>Metodologia empregada</i>	62
5	VOLUMES DE TRÁFEGO ATUAL.....	66
5.1	CONTAGENS REALIZADAS EM AGOSTO DE 2022	66
5.1.1	<i>Ponto 1 – Entre Marabá e Jacundá</i>	66
5.1.2	<i>Ponto 2 – Entre Jacundá e Goianésia do Pará</i>	67
5.1.3	<i>Ponto 3 – Entre Goianésia do Pará e Região dos Campos</i>	68
5.1.4	<i>Ponto 4 – Entre Região dos Campos e Tailândia</i>	69
5.1.5	<i>Ponto 5 – Entre Tailândia e Moju</i>	70
5.1.6	<i>Ponto 6 – Entre Moju e Abaetetuba</i>	71
5.1.7	<i>Ponto 7 – Alça Viária</i>	72
6	MODELO DE CRESCIMENTO DE TRÁFEGO	73
6.1	Introdução	73
6.2	Obtenção da Elasticidade (η) de Crescimento	74
6.3	Projeção de Taxas de Crescimento Para o Horizonte de Concessão.....	81
6.3.1	<i>Conversão de PIB corrente para PIB constante segundo base de dados do Banco Mundial</i> 81	
6.3.2	<i>Cálculo do PIB per capita em US\$ 2010 com dados de 2019</i>	82
6.3.3	<i>Cenários de Projeção de Taxa de Crescimento do Tráfego</i>	83
7	MATRIZ ORIGEM-DESTINO	84

7.1	Matriz Origem-Destino Base	84
8	CALIBRAÇÃO DO MODELO LOGIT – TIPO A.....	88
8.1	RESULTADOS DO MODELO VEÍCULOS DE PASSEIO	88
8.2	RESULTADOS DO MODELO VEÍCULOS COMERCIAIS.....	92
9	CALIBRAÇÃO DO MODELO LOGIT – TIPO B.....	98
9.1	RESULTADOS DO MODELO veículos de passeio	98
9.2	RESULTADOS DO MODELO VEÍCULOS COMERCIAIS.....	99
10	MODELAGEM DE REDE GEORREFERENCIADA	101
10.1	BASE VIÁRIA.....	102
10.2	SISTEMA DE TRANSPORTES	103
10.3	ZONEAMENTO	107
10.4	SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO.....	108
10.5	PROCESSO DE ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO	110
11	INDICAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO PARA IMPLANTAÇÃO DAS PRAÇAS DE PEDÁGIO.....	112
11.1	IDENTIFICAÇÃO DE POSSÍVEIS ROTAS ALTERNATIVAS E/OU DE DESVIO	114
12	VOLUME DE TRÁFEGO – ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO.....	119
12.1	CENÁRIO DE ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO	119
12.1.1	<i>Cenário base – Pedagiamento.....</i>	<i>119</i>
13	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS PRAÇAS DE PEDÁGIO	123
13.1	MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO	123
13.1.1	<i>Dimensionamento das Cabines</i>	<i>123</i>
14	PROJEÇÃO DE TRÁFEGO DURANTE A CONCESSÃO	126
14.1	PROJEÇÃO DE TRÁFEGO – CENÁRIO BASE.....	126
14.2	ESTIMATIVA DE RECEITA	135
14.2.1	<i>Metodologia para Projeção de Receita</i>	<i>135</i>

15	CÁLCULO DOS NÍVEIS DE SERVIÇO	137
15.1	NÍVEIS DE SERVIÇO DURANTE A CONCESSÃO	137
15.1.1	<i>Patamares de Nível de Serviço</i>	137
15.1.2	<i>Nível de Serviço para o horizonte de concessão da rodovia</i>	138
15.1.3	<i>Gatilhos de Ampliação de Capacidade</i>	140
16	NÚMERO N	144
16.1	DADOS DE PESAGEM	144
16.2	CÁLCULO DO NÚMERO N	147
17	OBSERVAÇÕES ADICIONAIS SOBRE O ESTADO DO PARÁ	148
18	CONSIDERAÇÕES FINAIS	149
19	EQUIPE TÉCNICA	152

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Macro localização das rodovias em estudo.....	14
Figura 2: Fluxograma com macro tarefas.....	16
Figura 3: Trecho em estudo (PA-150 e PA-475)	19
Figura 4: Trecho em estudo (PA-475, PA-252 e PA-151).....	20
Figura 5: Trecho em estudo (PA-151, PA-483 e Alça Viária)	20
Figura 6: Fluxos de transporte atuais na região de estudo.....	23
Figura 7: Fluxos de transporte no cenário tendencial na região de estudo.....	24
Figura 8: Fluxos de transporte no cenário pessimista na região de estudo.....	25
Figura 9: Pesquisa de Contagem Veicular por vídeo	27
Figura 10: Registros fotográficos realizados durante o levantamento de campo	28
Figura 11: Classificação de veículos utilizada na pesquisa	28
Figura 12: Exemplo de parte do formulário utilizado na pesquisa	29
Figura 13: Pontos de pesquisa do estudo	30
Figura 14: Registros de campo	31
Figura 15: Formulário de entrevistas	33
Figura 16: Pontos de Entrevistas da Pesquisa Origem e Destino	35
Figura 17: Pesquisa OD / PD em andamento	37
Figura 18: Exemplo de pergunta Tipo A	39
Figura 19: Exemplo de Pesquisa Tipo B.....	40
Figura 20: Ilustração do Fator de Sazonalidade Mensal.....	43
Figura 21: Fator K 50ª hora.....	46

Figura 22: Função logística e a relação logística.....	49
Figura 23: Projeção PIB-Brasil.....	52
Figura 24: Situações em uma rodovia respectivas aos diferentes níveis de serviço do HCM.....	55
Figura 25: Exemplos de rodovias de duas faixas com sentidos de tráfego contrários.....	57
Figura 26: Classificação dos veículos de carga	62
Figura 27: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 1.....	66
Figura 28: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 2.....	67
Figura 29: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 3.....	68
Figura 30: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 4.....	69
Figura 31: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 5.....	70
Figura 32: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 6.....	71
Figura 33: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 7.....	72
Figura 34: Dispersão dos pontos da regressão linear da elasticidade para veículos leves	77
Figura 35: Dispersão dos pontos da regressão linear da elasticidade para pesados	78
Figura 36: Dispersão dos pontos da regressão linear da elasticidade para pesados	80
Figura 37: Motivo para a realização das viagens.....	85
Figura 38: Frequência das viagens	86
Figura 39: Carregamento da Frota de veículos comerciais	86
Figura 40: Composição dos caminhões por quantidade de eixos	87
Figura 41: Variação da adesão em função da tarifa	90
Figura 42: Estimativa de tarifa ótima	92
Figura 43: Variação da adesão em função da tarifa	96

Figura 44: Estimativa de tarifa ótima	97
Figura 45: Zoneamento adotado.....	101
Figura 46: Base viária do estado do Pará utilizada no modelo	102
Figura 47: Mapa da Rede Rodoviária do Pará (Fonte: PELT PA).....	103
Figura 48: Detalhe da Ferrovia Norte-Sul entre Açailândia (MA) e Barcarena (PA) (fonte: PELT Pará) ..	104
Figura 49: Detalhe da seção transversal do Rio Tocantins na região dos pedrais (fonte: Anteprojeto de derrocamento do Pedral do Lourenço. Adaptado.)	105
Figura 50: Detalhe da Hidrovia do Tocantins-Araguaia entre Tucuruí (PA) e Conceição do Araguaia (PA) (Fonte: PELT Pará)	106
Figura 51: Detalhe para o zoneamento adotado	107
Figura 52: Localização das Praças de Pedágio.....	113
Figura 53: Ilustração de rota alternativa e roda de desvio	114
Figura 54: Detalhe para rota alternativa via BR—010.....	115
Figura 55: Detalhe para rota alternativa via PA-151	116
Figura 56: Detalhe para a possibilidade de fuga via PA-252	117
Figura 57: Detalhe para a possibilidade de fuga via PA-151/PA-263.....	118
Figura 58: Carregamento do cenário base	120
Figura 59: Fugas de Tráfego devido a abertura do tráfego na hidrovia e Porto em Marabá em 2026...122	
Figura 60: Movimentação nos portos do Pará (O LIBERAL, 2022)	148
Figura 61: Aumento da movimentação de carga nos portos brasileiros (ANTAQ, 2022)	148
Figura 62: Cenário PNL – 2	150
Figura 63: Cenário PNL – 6	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Segmentos Homogêneos em estudo.....	22
Tabela 2: Localização de referência dos pontos de pesquisa.....	31
Tabela 3: Níveis e Atributos Pesquisa Tipo A	40
Tabela 4: Níveis e atributos pesquisa Tipo B.....	40
Tabela 5: Montagem dos cadernos pesquisa Tipo A.....	41
Tabela 6: Montagem dos cadernos pesquisa Tipo B.....	41
Tabela 7: Fatores de Correção Sazonal (Fc) na BR-155 km 336	44
Tabela 8: Fatores de Correção Sazonal (Fc) - Movimentação de Mercadorias no Porto Vila do Conde 2021.....	44
Tabela 9: Fatores de Correção.....	44
Tabela 10: Peso da frequência das viagens.....	47
Tabela 11: Descrições de qualidade do fluxo do tráfego nos diferentes níveis de serviço para as 3 classes de rodovias de pista simples	58
Tabela 12: Parâmetros para avaliação do Nível de Serviço	59
Tabela 13: Parâmetros utilizados para a determinação do nível de serviço para as diferentes classes de rodovias de pista simples	59
Tabela 14: Limites para determinação do Nível de Serviço em rodovias de pista simples.....	59
Tabela 15: Escala proposta de nível de serviço de Faria (2008).....	61
Tabela 16: Fatores de equivalência de carga da AASHTO	63
Tabela 17: Fatores de equivalência de carga da USACE.....	64
Tabela 18: Percentuais de veículos comerciais na faixa de projeto.....	65
Tabela 19: Dados para cálculo de elasticidade.....	75

Tabela 20: Análise estatística da elasticidade para veículos leves.....	78
Tabela 21: Análise estatística da elasticidade para pesados.....	79
Tabela 22: Análise estatística da elasticidade para pesados.....	80
Tabela 23: Resumo das Elasticidades.....	80
Tabela 24: Valores calculados do PIB per capita em US\$ 2010 e a variação na elasticidade entre 2021 e 2055.....	82
Tabela 25: Taxas de crescimento de tráfego adotadas.....	83
Tabela 26: Principais origens e destinos verificados para as viagens de veículos leves.....	84
Tabela 27: Principais origens e destinos verificados para as viagens de veículos comerciais leves.....	84
Tabela 28: Principais origens e destinos verificados para as viagens de veículos comerciais pesados.....	85
Tabela 29: Análise de regressão com todas as variáveis.....	88
Tabela 30: Ajuste do modelo (passeio).....	89
Tabela 31: Ajuste das variáveis do modelo (passeio).....	89
Tabela 32: Valores de pseudo R ² (passeio).....	89
Tabela 33: Classificação do modelo (passeio).....	90
Tabela 34: Análise de regressão com todas as variáveis.....	92
Tabela 35: Ajuste do modelo (comercial).....	93
Tabela 36: Ajuste das variáveis do modelo (comercial).....	93
Tabela 37: Valores de pseudo R ² (comercial).....	95
Tabela 38: Classificação do modelo (comercial).....	95
Tabela 39: Análise de regressão com todas as variáveis.....	98
Tabela 40: Ajuste do modelo (passeio Tipo B).....	98
Tabela 41: Valores de pseudo R ² (passeio Tipo B).....	99

Tabela 42: Análise de regressão com todas as variáveis.....	99
Tabela 43: Ajuste do modelo (comercial Tipo B).....	100
Tabela 44: Valores de pseudo R ² (comercial Tipo B).....	100
Tabela 45: Valores considerados por faixa salarial (veículos leves).....	108
Tabela 46: Valores calculados em R\$/h (veículos passeio).....	108
Tabela 47: Custo final R\$/min + custo de manutenção (20%) - Veículos de passeio.....	109
Tabela 48: Valores calculados em R\$/h (veículos comerciais).....	109
Tabela 49: Custo final R\$/min + Manutenção (50%) – Veículos Comerciais.....	109
Tabela 50: Valores em R\$/km por tipo de combustível (veículos de passeio).....	110
Tabela 51: Valores em R\$/km – Diesel (veículos comerciais).....	110
Tabela 52: Localização das Praças de Pedágio.....	112
Tabela 53: Tabela resumo de fugas para o ano de abertura dos pedágios (2024).....	121
Tabela 54: Tabela resumo de fugas.....	121
Tabela 55: Dados de entrada para dimensionamento das cabines das praças de pedágio.....	123
Tabela 56: Resumo do Tempo médio no sistema (segundos).....	124
Tabela 57: Resumo da Fila Média (veículos).....	124
Tabela 58: Resumo dos Níveis de Serviço.....	125
Tabela 59: Indicação da quantidade de faixas de cobrança por sentido.....	125
Tabela 60: Categorias de Cobrança de Pedágio.....	126
Tabela 61: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 1.....	127
Tabela 62: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 2.....	128
Tabela 63: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 3.....	129

Tabela 64: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 4	130
Tabela 65: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 5	131
Tabela 66: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 6	132
Tabela 67: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 7	133
Tabela 68: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 8	134
Tabela 69: Estimativa de Receita durante a concessão – Cenário Base.....	136
Tabela 70: Parâmetros utilizados para o cálculo dos patamares de Nível de Serviço HCM	137
Tabela 71: Níveis de Serviço para Cenário Base.....	139
Tabela 72: Locais de Implantação de 3ª Faixa na PA-150 - Norte.....	141
Tabela 73: Locais de Implantação de 3ª Faixa na PA-150 - Sul	142
Tabela 74: Locais de Implantação de 3ª Faixa na Alça Viária - Norte	143
Tabela 75: Locais de Implantação de 3ª Faixa na Alça Viária - Sul.....	143
Tabela 76: Pesos Médios e Carregamento	145
Tabela 77: Fatores de Veículo - USACE.....	146
Tabela 78: Número N	147
Tabela 79: Espessura Mínima de revestimento betuminoso.....	147
Tabela 80: Cenários de Infraestrutura.....	149
Tabela 81: Variáveis presentes no estudo e seu grau de confiabilidade	151

1 APRESENTAÇÃO

A **ImTraff Consultoria e Projetos de Engenharia** tem o prazer de apresentar o **Estudo de Tráfego para concessão** do conjunto de rodovias do Pará, as quais estão descritas em sequência:

- PA-150 - Entre Marabá/PA (Morada Nova) até PA-475/256 já no fim do município de Tailândia/PA;
- PA-475 – Entre PA-150 e PA-252;
- PA-252 – Entre PA-475 e PA-151 já próximo do Perímetro Urbano de Moju/PA;
- PA-151 – Entre PA-252 e PA-483/Alça Viária do Pará;
- PA-483 – Entre área portuária Vila do Conde e PA-151;
- Alça Viária do Pará – Entre PA-151/483 e BR-316, já próximo ao perímetro urbano de Ananindeua.

Este documento surge do interesse da Secretaria de Estado de Transportes – SETRAN – em fomentar a estruturação de projetos de infraestrutura no Pará, retomando, sobretudo, os estudos de viabilidade à concessão do sistema rodoviário entre Marabá e Belém, mais precisamente a PA-150.

Assim, o “Estudo de Tráfego” se faz necessário para avaliar a possibilidade de concessão dos referidos trechos rodoviários, seja por uma concessão comum ou seja por intermédio de uma Parceria Público-Privada (PPP) com a finalidade de se realizar de melhorias na infraestrutura destas vias. O presente documento faz parte de um conjunto de estudos técnicos com vistas a exploração dos trechos durante um prazo de 30 anos.

distintas, alteram o volume de tráfego previsto para o horizonte de concessão, o que impacta diretamente na tarifa base e, conseqüentemente, na receita do concessionário.

Dito isto, é importante mencionar também que o estudo segue uma seqüência metodológica e específica de etapas primordiais:

- Pesquisas de Campo; levantamentos, contagens, visitas;
- Consolidação dos dados levantados em campo; tabulação e avaliação dos dados;
- Elaboração de um modelo de simulação de tráfego, com uma rede viária virtual georreferenciada em software específico;
- Obtenção de Matrizes de Origem-Destino;
- Obtenção do VDMA – Volume Diário Médio Anual – para o Ano Base;
- Projeção do VDMA para o horizonte de 30 anos;
- Simulações de cenários com alteração da demanda (VDMA) em função de alterações operacionais (cobrança de pedágio, por exemplo) e ou geométricas (obras de pavimentação, por exemplo);
- Obtenção do volume de tráfego projeto ao longo do período da concessão;
- Obtenção da Receita Estimada da Concessão;
- Cálculo dos níveis de serviço;
- Cálculo do número N.

Por fim, os produtos gerados neste estudo subsidiam o cálculo de fatores fundamentais na estimativa do CAPEX (*Capital Expenditure*) e/ou investimentos.

Em síntese, este estudo pode ser resumido a três fases: Levantamentos de Campo (1), Simulação de Tráfego (2) e Projeção de Tráfego (3).

Durante a fase 1, foram realizados levantamentos e visitas à campo em toda a região Sudeste e Nordeste do Pará, além da região metropolitana de Belém para obtenção dos valores de VDM atuais, tanto nos trechos em questão, quanto nas rodovias BR-222 (Marabá/PA a Fortaleza/CE), BR-010 (Belém – Brasília) e BR-316 (Belém – Maceió), que complementam o sistema viário paraense.

A partir da coleta destes dados, estes foram agrupados e organizados para a obtenção da demanda atual através da modelagem de tráfego em software específico (2), que contém a malha viária (com todas as informações físicas das vias), representando, portanto, a oferta e a matriz de viagens, representando a demanda. As matrizes de viagens, as quais são obtidas por meio dos dados da Pesquisa Origem-Destino (OD), são alocadas no modelo de simulação que por sua vez gerará os volumes de tráfego.

Em seguida, já com os volumes de tráfego do cenário base consolidado, procede-se com o crescimento do tráfego (3) que é resultando da relação entre o desenvolvimento da economia regional/nacional, de sua população e/ou de algum outro indicador da região (por exemplo crescimento do agronegócio) com o crescimento do tráfego.

O fluxograma a seguir ilustra, de forma macro, os processos para elaboração deste estudo.

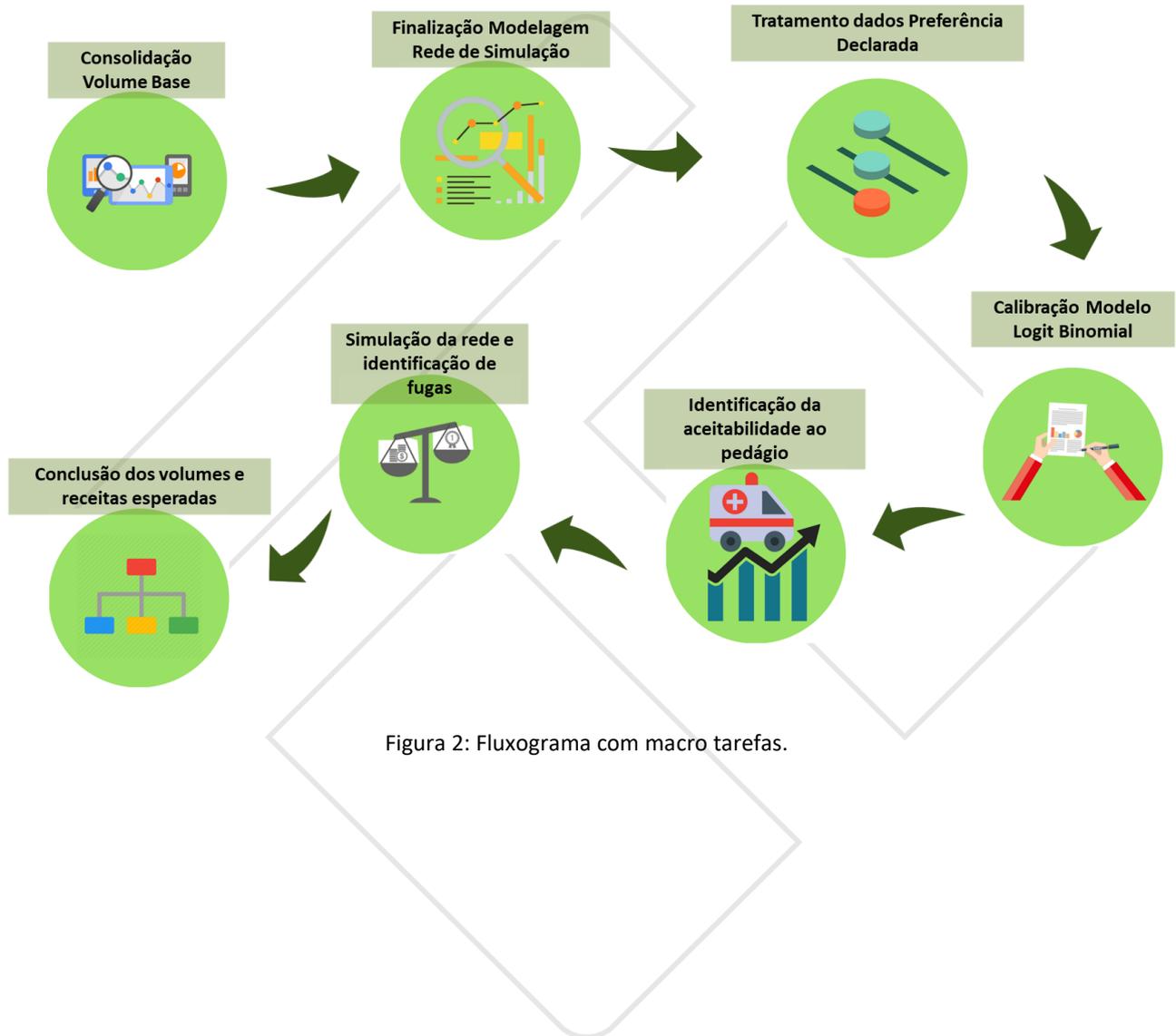


Figura 2: Fluxograma com macro tarefas.

2 INFORMAÇÕES GERAIS

- **Objeto de Estudo:** Estudo de Tráfego das Rodovias PA-150, PA-475, PA-252, PA-151, PA-483 e Alça Viária do Pará para análise de viabilidade de concessão comum ou por meio de Parceria Público Privada.
- **Localização:** Entre Marabá/PA até Belém/PA nas regiões sudeste e nordeste do Pará.

2.1 AUTOR

Empresa de Consultoria: **ImTraff – Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda.**

Endereço: **Av. Cristiano Machado, 640/sl. 1106**

Bairro da Graça

Belo Horizonte – MG

CEP 31.140-660

Telefone: **+55 (31) 2516-8001**

E-mail: igor@imtraff.com / vagner.stefanello@imtraff.com.br / frederico@imtraff.com.br

Site: www.imtraff.com.br

Equipe Técnica:

RT: Frederico Rodrigues – Eng^o Civil, D.Sc., – CREA 90.217/D – MG

Igor Jackson Arthur Costa e Souza – Líder de Estudos

Vagner Stefanello – Estudos de Tráfego

Bruno Silvério – Coordenador de Pesquisas de campo

João Vitor Scare Martins – Coordenador de Pesquisas de campo

3 APRESENTAÇÃO DAS RODOVIAS EM ESTUDO E ÁREA DE INFLUÊNCIA

Os trechos que são objeto deste estudo compreendem, a partir do sul, as rodovias:

- **Rodovia PA-150** (entre Morada Nova em Marabá/PA até o entroncamento com a PA-475/256 próximo do perímetro urbano de Tailândia/PA) com uma extensão aproximada de 333 km;
- **Rodovia PA-475** (entre entroncamento com PA-150 até entroncamento com a PA-252 no município de Moju/PA), com uma extensão aproximada de 41 km;
- **Rodovia PA-252** (entre Moju/PA e entroncamento com PA-151 em Abaetetuba/PA) numa extensão de aproximadamente 41 km;
- **Rodovia PA-151** (entre PA-252 e PA-483/PA-481 na rotatória de acesso à Barcarena/PA) com uma extensão aproximada de 22km;
- **Rodovia PA-483** (Entre Acesso a área portuária de Vila do Conde, em Barcarena/PA até o entroncamento com a PA-151/Alça Viária) numa extensão de aproximadamente 19km;
- **Alça Viária de Belém** (Entre o entroncamento com a Perna Sul/PA-483 até BR-316/010 em Ananindeua/PA) - extensão aproximada de 70km;

Estima-se, portanto, um lote de aproximadamente 525 km de rodovias, conforme ilustram as figuras que estão apresentadas em sequência. Os trechos indicados nas cores vermelhas e/ou rosa fazem parte do estudo.

Estas são rodovias que fazem parte do sistema rodoviário estadual do Pará e são importantes eixos estruturais de ligação entre regiões norte-sul do estado.

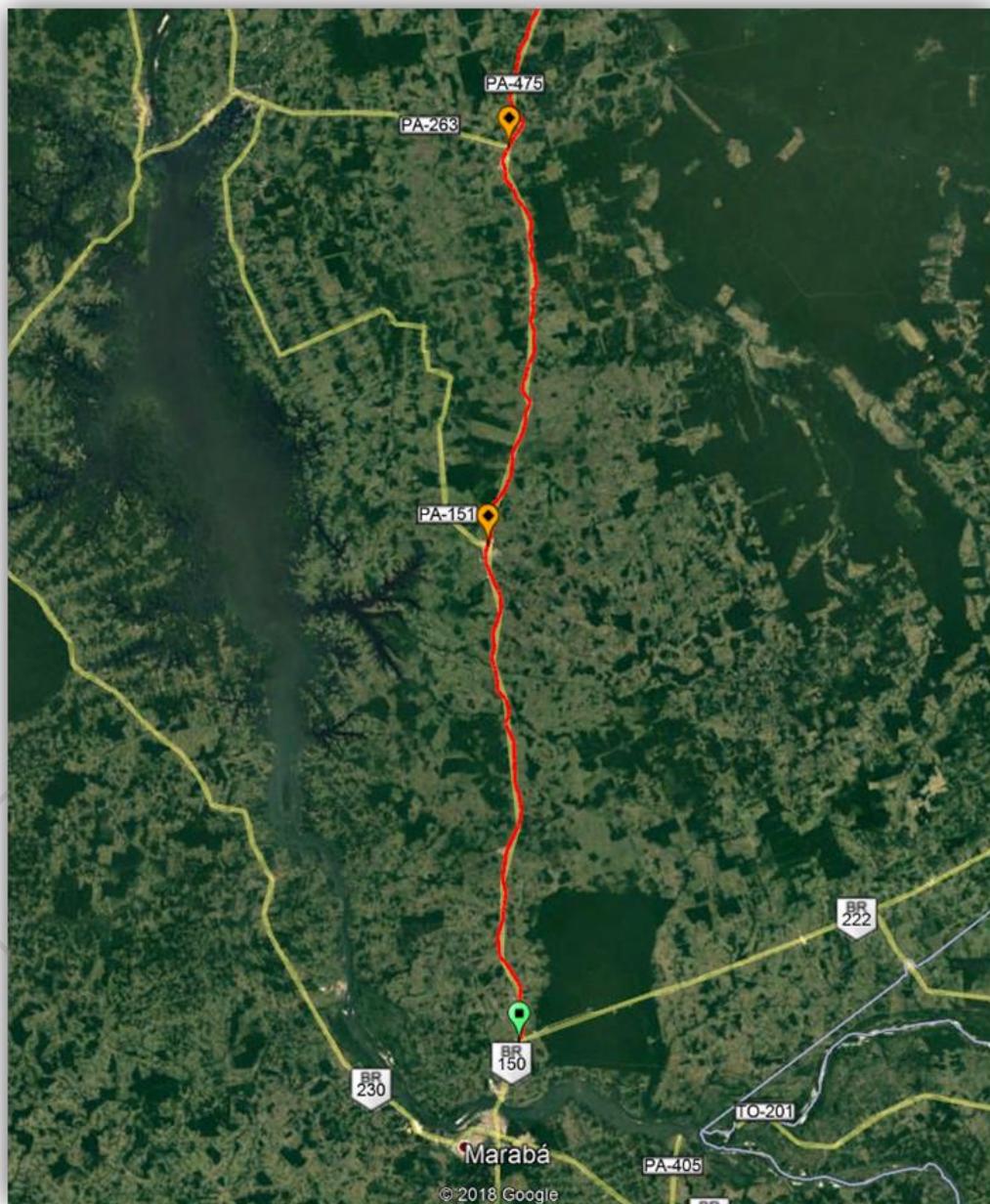


Figura 3: Trecho em estudo (PA-150 e PA-475)

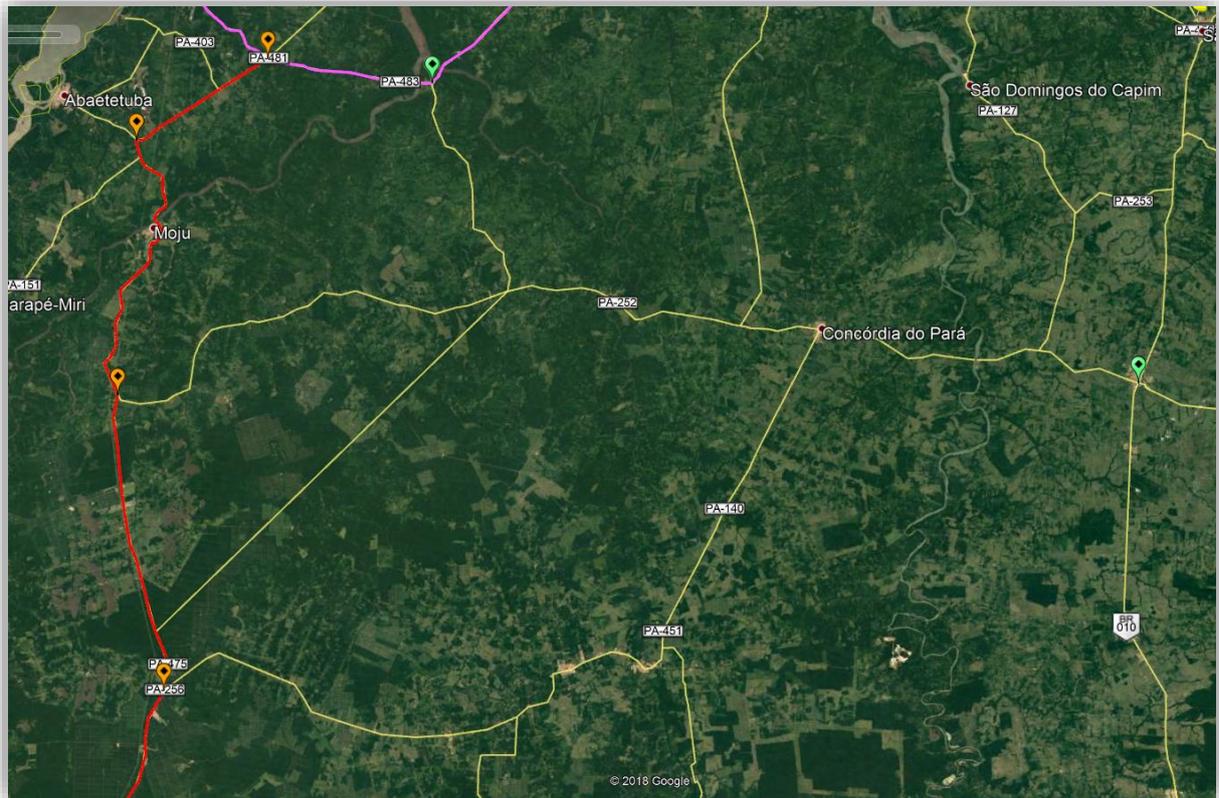


Figura 4: Trecho em estudo (PA-475, PA-252 e PA-151)

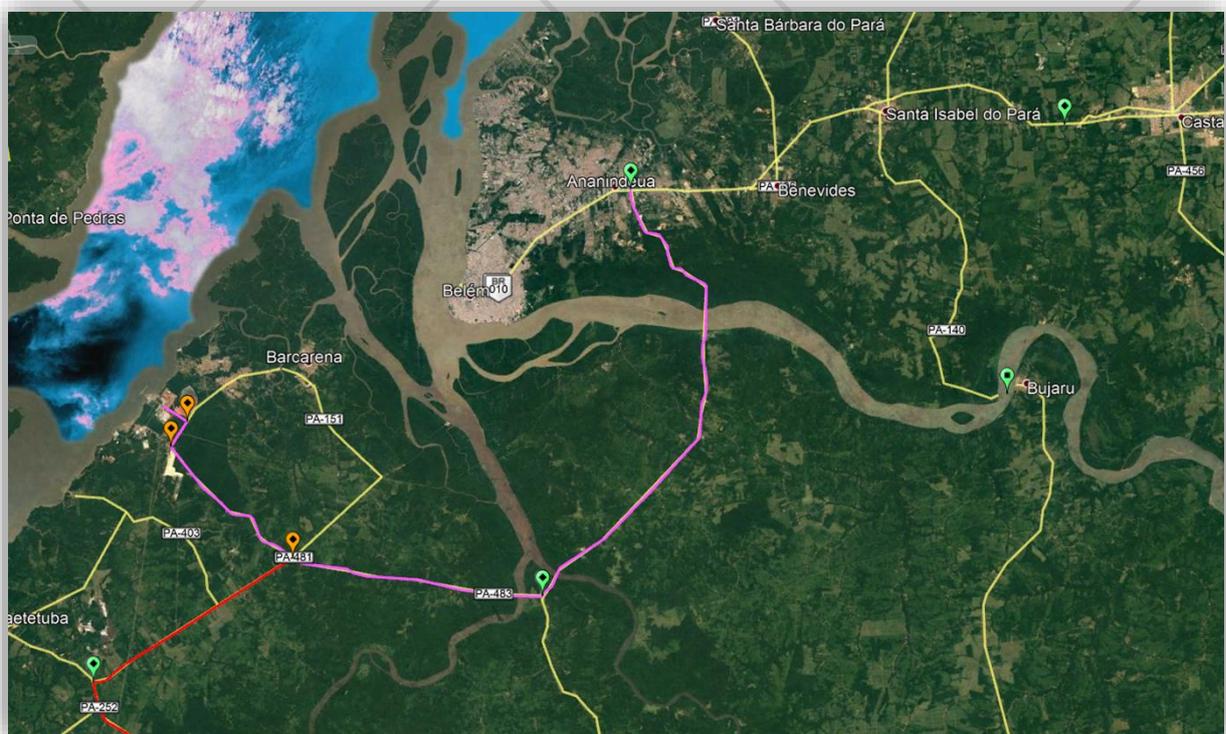


Figura 5: Trecho em estudo (PA-151, PA-483 e Alça Viária)

3.1 SISTEMA VIÁRIO EM ESTUDO – CONTEXTUALIZAÇÃO

No sistema viário em questão estão enquadradas as rodovias estaduais **PA-150, PA-474, PA-252, PA-151, PA-483 e Alça Viária**. Todas essas vias compõem parte do eixo estrutural de ligação entre as regiões sul e norte do estado paraense. O trecho que se inicia no distrito de Morada Nova, em Marabá, se estende até o município de Ananindeua, interseção com BR-316, possui aproximadamente 525km de extensão, que neste estudo será denominado como **Lote 1**.

É importante ressaltar que as vias em estudo tratam-se de rodovias já consolidadas e usualmente utilizadas para o escoamento logístico do Pará, sobretudo pela proximidade com o Porto de Vila do Conde, em Barcarena, e nele espera-se um tráfego característico de veículos pesados. Nota-se também a existência de via concorrente a leste, a BR-010, mais conhecida como “Belém-Brasília”, que possui um traçado paralelo distante cerca de 170 km do traçado da PA-150. Assim sendo, a definição de qual trajeto a ser utilizado pelos usuários se dará através de análise custo x benefício, o qual envolve algumas variáveis como custo de pedágio, tempo, distância, segurança e outros, análise realizada por cada usuário dessas vias e que o modelo deste estudo de tráfego tentou identificar e replicar.

Fato é que o sistema viário das regiões Leste-Sul do Pará melhorou de forma expressiva após a implantação da alça viária, no entanto tais regiões ainda carecem de melhorias na infraestrutura e segurança viária que beneficiarão, diretamente, toda a região influência primária, ou seja, os municípios e povoados mais próximos, tráfego da logística e aqueles que serão influenciados de forma secundária (tráfego de passagem).

Ademais, com a perspectiva de investimentos em infraestrutura de transporte no país para aumento da oferta de transporte principalmente para melhoria do acesso aos portos do Arco Norte, existe a previsão de criação de nova via para escoamento de cargas: a perenização da hidrovia do Tocantins entre Marabá e Belém. Atualmente devido a presença de pedral no trecho entre a barragem de Tucuruí e Marabá, o rio só é navegável em período de cheia devido a pouca profundidade ocasionada pela presença dessas pedras. Uma obra de derrocamento está prevista para criar um canal de navegação perene todo o ano, o que facilitará seu uso como eixo de transporte.

Com vistas para tais melhorias o estudo de tráfego avaliou 3 potenciais cenários de concessão, os quais são caracterizados da seguinte forma:

1. **Cenário Base** – Concessão do Lote 1 (Rodovias PA-150, PA-475, PA-252, PA-151, PA-483 e Alça Viária do Pará (contorno));

2. **Cenário Tendencial** – Cenário base + viabilização da navegação na Hidrovia do Tocantins entre Marabá e Belém com implantação de porto em Marabá;
3. **Cenário Pessimista** – Cenário base + viabilização da navegação na Hidrovia do Tocantins entre Conceição do Araguaia e Belém com implantação de porto em Tucuruí, em Marabá e em Conceição do Araguaia.

Na tabela a seguir podem ser conferidos os trechos segmentados das rodovias, denominados segmentos homogêneos e que serão utilizados até a conclusão do relatório.

Como apresentado, dividiu-se o Lote 1 em 19 segmentos homogêneos que serão utilizados posteriormente, por exemplo, na apresentação do VDM (Volume Diário Médio) e cálculo de número “N”.

No que tange as características físicas, geométricas e operacionais das rodovias é importante mencionar que em toda sua extensão as vias apresentam a configuração do tipo pista simples, sem a presença de acostamento em maior parte dos trechos, o traçado não é sinuoso e quanto ao relevo da região é majoritariamente plano.

Tabela 1: Segmentos Homogêneos em estudo

SH	Rodovia	Início	Fim	km Inicial	Km Final	Extensão	Classificação	Tipo pista / Pav.
1	PA-150	Entrº BR-222 (Morada Nova)	Fim PU de Morada Nova	-	1,30	1,30	Urbano	PS/PAV
2	PA-150	Fim de Pu de Morada Nova	Início PU de Nova Ipixiuna	1,30	33,60	32,30	Rural	PS/PAV
3	PA-150	Início PU de Nova Ipixiuna	Fim PU Nova Ipixiuna	33,60	35,00	1,40	Urbano	PS/PAV
4	PA-150	Fim PU Nova Ipixiuna	Início PU de Jacundá	35,00	87,00	52,00	Rural	PS/PAV
5	PA-150	Início PU de Jacundá	Fim PU de Jacundá	87,00	91,40	4,40	Urbano	PS/PAV
6	PA-150	Fim PU de Jacundá	Início PU de Goianésia do Pará	91,40	159,00	67,60	Rural	PS/PAV
7	PA-150	Início PU de Goianésia do Pará	Entrº PA 263 (Fim PU Goianésia do Pará)	159,00	164,80	5,80	Urbano	PS/PAV
8	PA-150	Entrº PA 263 (Fim PU Goianésia do Pará)	Início PU de Tailândia	164,80	267,40	102,60	Rural	PS/PAV
9	PA-150	Início PU de Tailândia	Fim PU de Tailândia	267,40	271,90	4,50	Urbano	PS/PAV
10	PA-150	Fim de PU de Tailândia	Entrº PA-475/256	271,90	333,00	61,10	Rural	PS/PAV
11	PA-475	Entrº PA-150/256	Entrº PA-252	-	41,60	41,60	Rural	PS/PAV
12	PA-252	Entrº PA-475	PU Moju	-	25,70	25,70	Rural	PS/PAV
13	PA-252	PU Moju	Fim PU de Moju	25,70	27,00	1,30	Urbano	PS/PAV
14	PA-252	Fim de Pu de Moju	Entrº PA-151/252	27,00	41,40	14,40	Rural	PS/PAV
14A	PA-252					0,90		
15	PA-151	Entrº PA-252	Entrº PA-483/Alça Viária	-	21,50	21,50	Rural	PS/PAV
16	PA-483	Entrº Acesso Área Portuária Vila do Conde (Barcarena)	Fim PU de Pramajá	-	3,00	3,00	Urbano	PS/PAV
17	PA-483	Fim PU de Pramajá	Entrº PA-151/Alça Viária	3,00	18,60	15,60	Rural	PS/PAV
18	Alça	Entrº PA-151/483	Início PU de Ananindeua	-	67,50	67,50	Rural	PS/PAV
19	Alça	Início PU de Ananindeua	Entrº BR-316/010	67,50	69,40	1,90	Urbano	PD/PAV

3.2 SISTEMA VIÁRIO EM ESTUDO – CENÁRIO ATUAL/BASE

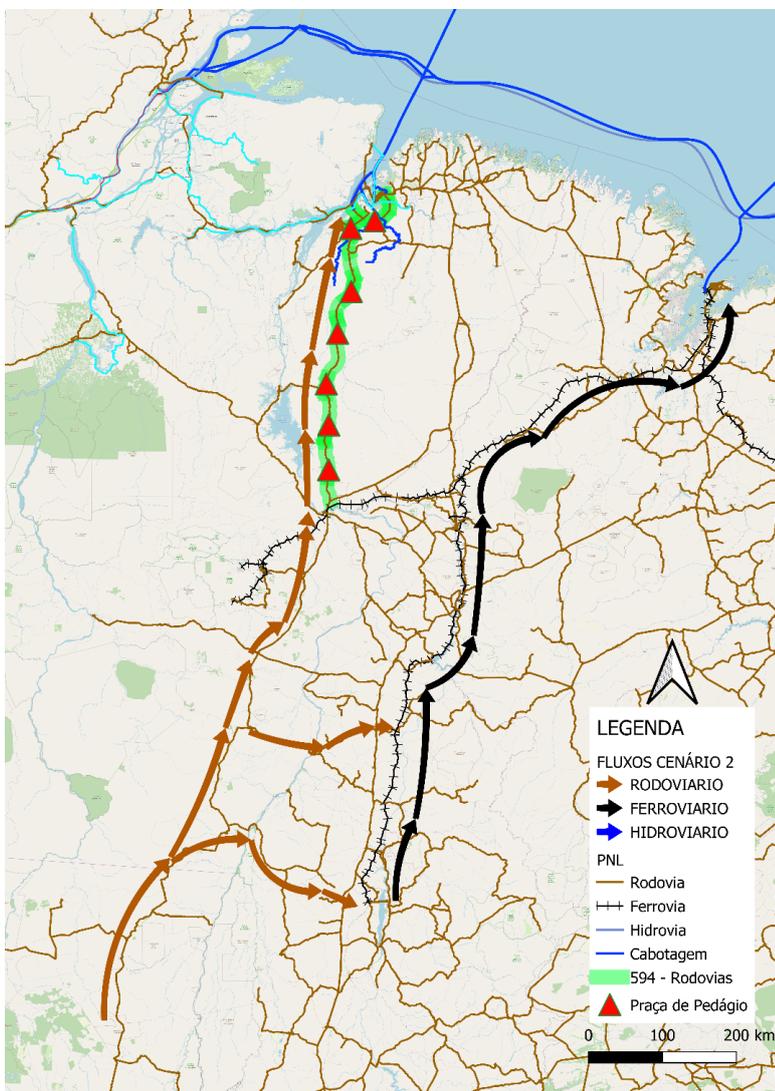
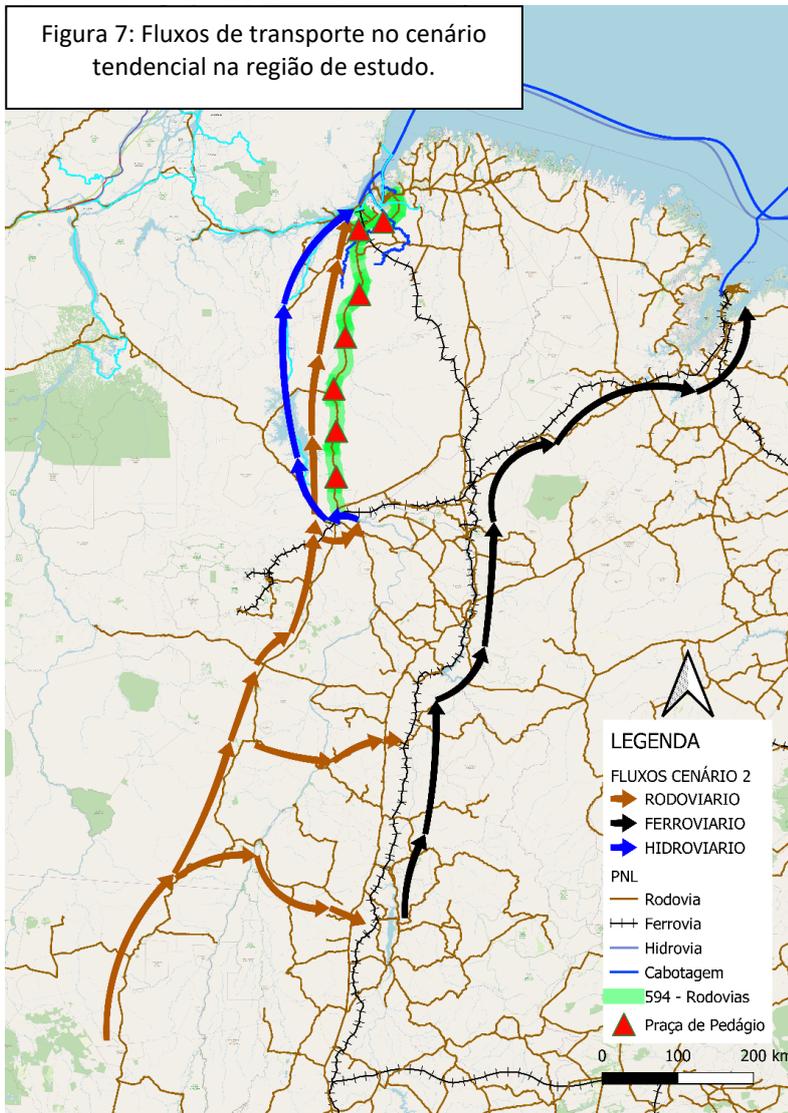


Figura 6: Fluxos de transporte atuais na região de estudo.

No cenário atual, a oferta de transporte na região do Nordeste do Mato Grosso e Sudeste do Pará se dá notadamente pelas BR-158 e sua continuação pela PA-150 e demais, estas objetos deste estudo de concessão, que possui como vias concorrentes a BR-010 (Belém-Brasília), porém que mantém o mesmo modo de transporte, rodoviário, e a Ferrovia Norte Sul através de carregamento em terminais de transbordo no estado do Tocantins, que por ser pelo modo ferroviário apresenta custo quilométrico de transporte mais baixo.

3.3 SISTEMA VIÁRIO EM ESTUDO – CENÁRIO TENDENCIAL

Figura 7: Fluxos de transporte no cenário tendencial na região de estudo.



Conforme citado acima, existe a previsão de perenização da viabilidade de navegação na Hidrovia do Tocantins. É esperado que o trecho de via navegável em si tenha capacidade de transporte de 20 milhões de toneladas por ano devido ao sistema de eclusas da barragem de Tucuruí. No entanto, no cenário tendencial assumiu-se que somente um porto nas proximidades de Marabá seria construído. Devido à ausência de dados sobre esse porto em específico, foi analisado o carregamento dos diversos cenários apresentados no estudo PNL 2035, de onde observou-se que o carregamento era sempre inferior à 10 milhões de toneladas nesse porto, sendo este valor adotado como capacidade deste porto. Desta forma, a capacidade total desta nova

oferta de transporte via modo hidroviário tem limite de capacidade no Porto de Marabá, com somente 10 milhões de toneladas por ano, seguido de outro limitador de capacidade, o sistema de eclusas na barragem de Tucuruí, onde a capacidade é limitada à 20 milhões de toneladas por ano.

3.4 SISTEMA VIÁRIO EM ESTUDO – CENÁRIO PESSIMISTA

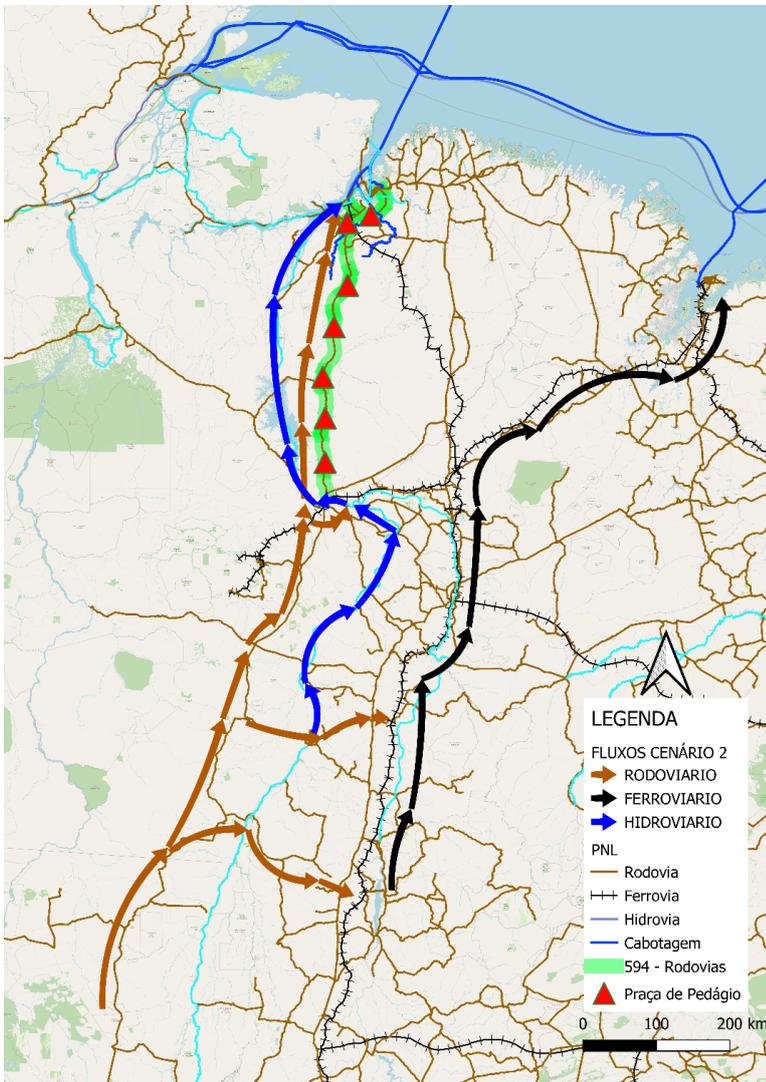


Figura 8: Fluxos de transporte no cenário pessimista na região de estudo.

Em complemento ao cenário tendencial, considerou-se também a concretização do previsto no Plano Estadual de Logística e Transportes do Pará (PELT-PA), que menciona como projeto prioritário hidroviário 1 a viabilização da navegação no Rio Tocantins. Para tanto, além do porto próximo à Marabá, também estão previstos outros dois portos: um em Tucuruí e outro mais ao Sul em Conceição do Araguaia.

Assim como no cenário tendencial, assumiu-se a capacidade destes portos sendo de 10 milhões de toneladas.

Desta forma, a capacidade total desta nova oferta de transporte via modo hidroviário tem limite de capacidade no Porto de Marabá, com somente 10 milhões de toneladas por ano, seguido de outro limitador de capacidade, o sistema de eclusas na barragem de Tucuruí, onde a capacidade é limitada à 20 milhões de toneladas por ano.

4 METODOLOGIA DOS TRABALHOS

Neste capítulo, serão apresentadas as metodologias empregadas durante o desenvolvimento do estudo de tráfego, desde as pesquisas de campo até o cálculo do número “N”. Vale salientar que todas as metodologias estão em concordância com o Manual de Estudos de Tráfego (IPR-723) do DNIT. Ao longo dos demais itens do relatório, serão mais bem detalhados alguns processos realizados para lograr êxito nos objetivos deste trabalho.

4.1 LEVANTAMENTO DE CAMPO: PESQUISAS DE TRÁFEGO

Neste item são explanadas as atividades desenvolvidas no levantamento dos dados, destaca-se que esta é uma das etapas fundamentais para o desenvolvimento do trabalho e serve de subsídio para se diagnosticar e determinar vários fatores quantitativos e qualitativos relativos ao tráfego de forma geral.

O capítulo está segregado nos seguintes itens a seguir:

- Contagem Classificada de Veículos (CCV);
- Pesquisas de Origem-Destino (OD);
- Pesquisa de Preferência Declarada (PD);
- Reconhecimento de Campo

4.1.1 Contagens Classificadas de Veículos (CCV)

As Contagens Volumétricas de Veículos 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. Essas informações serão usadas na análise de capacidade, no dimensionamento do pavimento, nas análises de viabilidade de implantação das praças de pedágio bem como caracterizar o perfil da rodovia.

Existem dois locais básicos para realização das contagens: nos trechos entre interseções e nas interseções. As contagens entre interseções têm como objetivo identificar os fluxos de uma determinada via e as contagens em interseções levantar fluxos das vias que se interceptam e dos seus ramos de ligação. No presente estudo realizou-se a contagem em ambos os locais.

Neste estudo, aplica-se a metodologia preconizada pelo manual de estudos de tráfego do DNIT, a qual utiliza pesquisadores, portando contadores manuais; registrando todos os veículos que trafegaram na via/postos de forma ininterrupta. O tipo de pesquisa utilizada - Contagens Classificadas de Veículos (CCV) – realizadas

em períodos de 16 a 24 horas x 7 dias (a partir de expansão). No que diz respeito ao número e localização dos pontos é importante frisar que são definidos com o intuito de garantir a obtenção de um conjunto de informações que permita a melhor caracterização possível do perfil volumétrico e comportamental do tráfego e das viagens que ora são realizadas no trecho em questão.

As contagens de veículos ocorreram de forma direcional, isto é, considerando os movimentos das seções principais. A contabilização do fluxo foi segmentada em intervalos de 15 minutos. Essa variação permite estabelecer o “Fator Hora de Pico” (FHP), que mede o grau de uniformidade do fluxo.

Para cada ponto de pesquisa foram utilizadas câmeras de vídeo posicionadas em locais estratégicos. As figuras a seguir ilustram os pesquisadores durante a realização dos trabalhos de contagem CCV.



Figura 9: Pesquisa de Contagem Veicular por vídeo

Em alguns locais, para contrapor a contagem manual e a contagem automatizada, foram realizadas contagens por meio de filmagens utilizando-se de um VANT (veículo aéreo não tripulado) – Drone, que serviu também para percorrer o trecho. As figuras a seguir são fotografias retiradas com o auxílio do referido equipamento. A foto da esquerda foi retirada em Pramajá, Barcarena, no encontro da PA-483 com a Via Portuária, já a fotografia da direita é a BR-316 com BR-155 (Alça Viária).



Figura 10: Registros fotográficos realizados durante o levantamento de campo

No que diz respeito a classificação dos veículos durante as contagens, estes foram classificados de modo que oferecessem subsídio para posterior obtenção do número N, bem como para avaliação de receita dos pedágios.

Deste modo, foram considerados além do automóvel de passeio (incluem-se utilitários de dois eixos não comercial) e motocicletas, a classificação de veículos pesados/comerciais é realizada por eixos segundo as classes apresentadas na Figura 11.

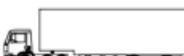
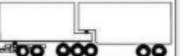
2CB 	3CB 	4CB 	2C 	3C 	4CD 
2S2 	2S3 	3S2 	3S3 	2I2 	2I3 
3I2 	3I3 	2J3 	3J3 	3D4 	3D6 
3T4 	3T6 	3M6 	3P5 	3Q4 	3V5 

Figura 11: Classificação de veículos utilizada na pesquisa

O formulário utilizado durante as contagens pode ser conferido na Figura 12.

CROQUI DO LOCAL																
		Intereio	Auto	Auto Reb 1 Eixo	Auto Reb 2 Eixos	Moto	2CB	3CB	2C	3C	4C	251	252	253		
	00:00 00:15															
	00:15 00:30															
	00:30 00:45															
	00:45 01:00															
	01:00 01:15															
	01:15 01:30															
	01:30 01:45															
	01:45 02:00															
	02:00 02:15															
	02:15 02:30															
	02:30 02:45															
	02:45 03:00															

Intereio																
		351	352	353	212	213	312	315	215	313	304	314	316	316	3P5	Outros Reboque
	00:00 00:15															
	00:15 00:30															
	00:30 00:45															
	00:45 01:00															
	01:00 01:15															
	01:15 01:30															
	01:30 01:45															
	01:45 02:00															
	02:00 02:15															
	02:15 02:30															
	02:30 02:45															
	02:45 03:00															

Figura 12: Exemplo de parte do formulário utilizado na pesquisa

4.1.1.1 Pesquisas realizadas em 2022

A Figura 13 apresenta os pontos de pesquisa do estudo realizado.

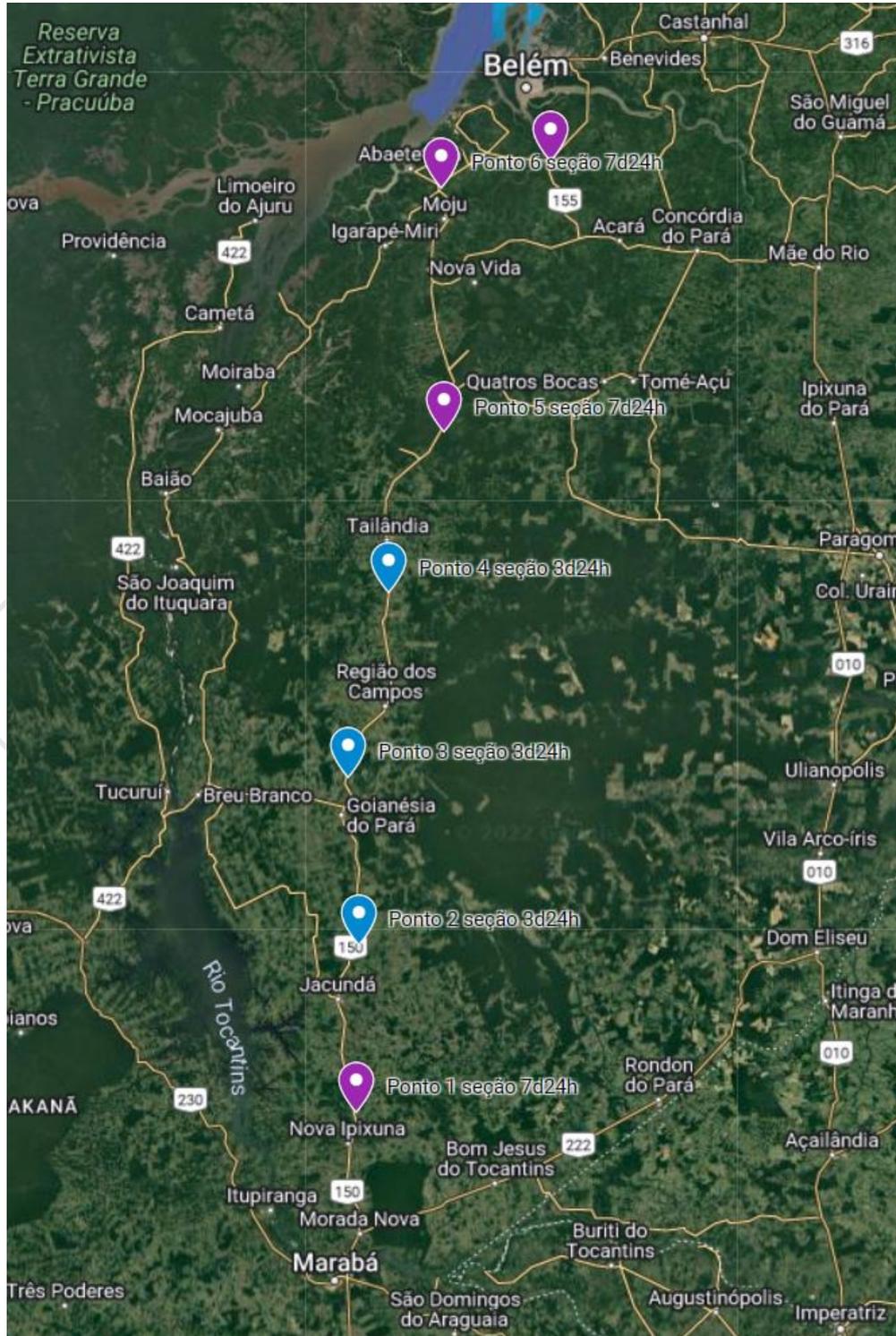


Figura 13: Pontos de pesquisa do estudo

A Figura 14 apresenta alguns registros das pesquisas de campo.



Figura 14: Registros de campo

A Tabela 2 detalha os municípios e locais de referência para cada ponto de pesquisa.

Tabela 2: Localização de referência dos pontos de pesquisa

PONTO DE PESQUISA	LOCALIZAÇÃO DE REFERÊNCIA	DATAS DE PESQUISA
Ponto 1	Entre Nova Ipixuna e Jacundá	18/08/2022 a 25/08/2022
Ponto 2	Entre Jacundá e Goianésia do Pará	19/08/2022 a 22/08/2022
Ponto 3	Entre Goianésia do Pará e Região dos Campos	16/08/2022 a 19/08/2022
Ponto 4	Entre Região dos Campos e Tailândia	15/08/2022 a 18/08/2022
Ponto 5	Entre Tailândia e Travesso do Alto Acará	18/08/2022 a 25/08/2022
Ponto 6	Entre Moju e Abaetetuba	14/08/2022 a 21/08/2022
Ponto 7	Próximo à Ponte Alça Viária	11/08/2022 a 18/08/2022

4.1.2 Pesquisa de preferência declarada e Origem e Destino (OD)

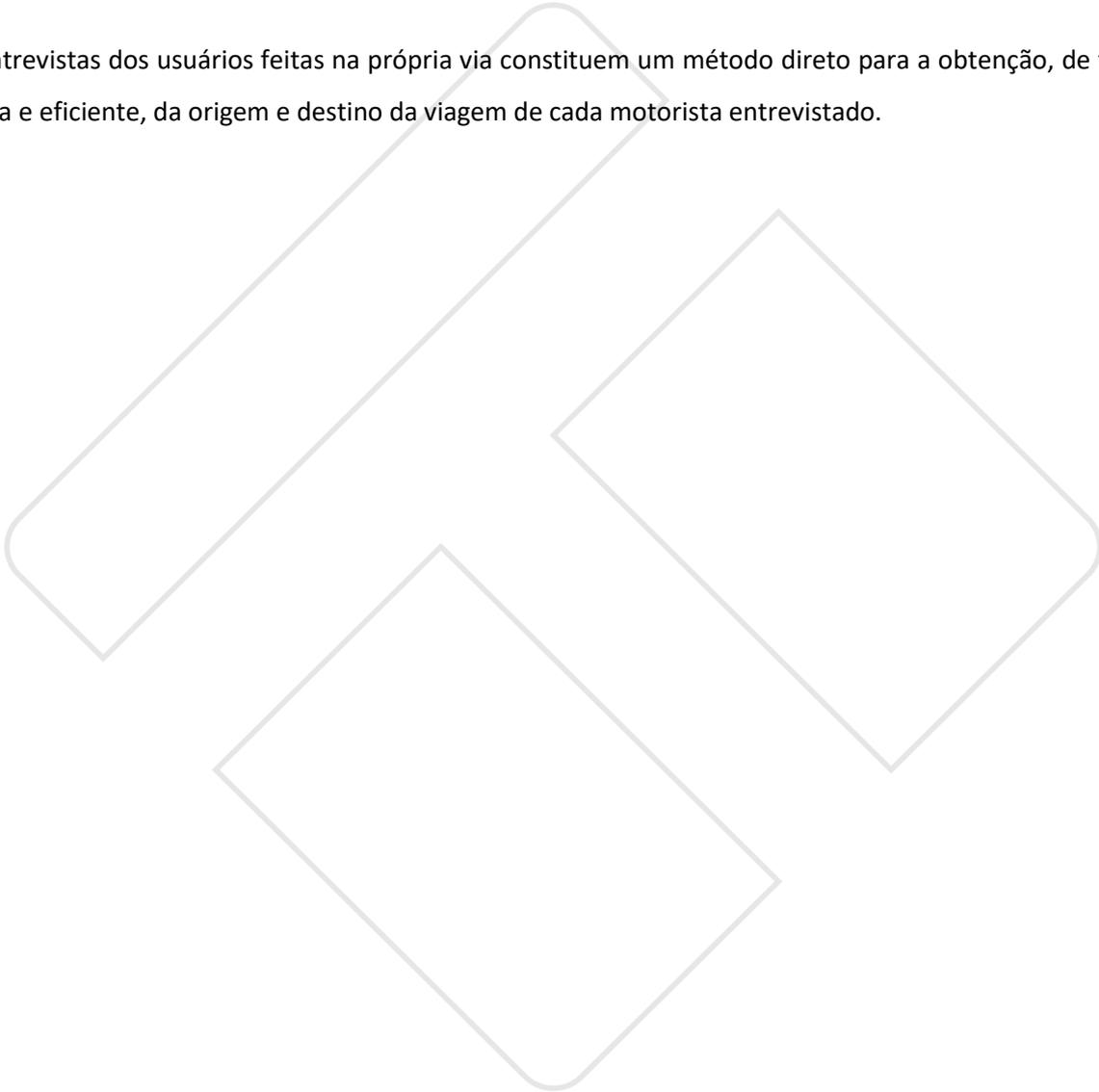
As pesquisas de preferência revelada e Origem e Destino (OD) têm como objetivo básico identificar as origens e destinos das viagens realizadas pelos diferentes tipos de veículos em um determinado sistema de vias. Possibilitam, ainda, conforme a amplitude do estudo que se tem em vista, a obtenção de informações de diversas outras características dessas viagens, como por exemplo, renda, características do automóvel, motivo e frequência das viagens etc.

As pesquisas são realizadas por meio de entrevistas feitas com motoristas, os quais são aleatoriamente interceptados no posto de pesquisa pelo qual trafega, daí a importância de profissionais capacitados (PRF ou PRE) para que a pesquisa ocorra da melhor maneira possível, sobretudo no que tange a segurança viária. Após breve explicação sobre o motivo da pesquisa o pesquisador conduz o usuário a responder as questões.

Essas informações são utilizadas no estudo do comportamento atual e futuro do tráfego, e permitem:

- Identificar desvios de tráfego provenientes de alterações do sistema viário;
- Determinar as cargas dos veículos transportadas nas rodovias;
- Estimar taxas de crescimento;
- Determinar custos operacionais, custos de manutenção e outras variáveis relativas à viabilidade de eventuais obras no sistema viário.

As entrevistas dos usuários feitas na própria via constituem um método direto para a obtenção, de forma rápida e eficiente, da origem e destino da viagem de cada motorista entrevistado.



Na tabela apresentada a seguir pode-se verificar o formulário utilizado para realização da pesquisa OD.

CABEÇALHO				
Pesquisador:		Data:	Horário:	Dia da semana:
Rodovia:	Ponto:	Sentido:	Caderno nº:	
Veículo: a) Passeio b) Caminhão c) Ônibus		Nº eixos:	a) nº Eixo Suspensão:	b) Categ. DNIT:
1ª Parte da Pesquisa - Preferência Revelada				
1 - Sexo do motorista:	Masculino (M)	Feminino (F)	2 - Idade:	
3 - Profissão:				
4 - Escolaridade:	a) Fundamental incompleto	b) Fundamental completo	c) Médio completo	d) Médio incompleto
	e) Superior incompleto	f) Superior completo	g) Graduação além do ensino superior (pós, mestrado, etc)	
5 - Faixa de renda	a) Sem renda	b) R\$ 1.000,00	c) R\$ 2.000,00	d) R\$ 4.000,00
	e) R\$ 7.000,00	f) R\$ 10.000,00	g) Outro valor: _____	
6 - Marca do veículo / Modelo:		7 - Ano de fabricação:		
8 - Combustível predominante:	a) Gasolina	b) Álcool	9 - km / litro (estimado):	
	c) Diesel	d) Gás (GNV)		
10 - De quem é a propriedade do veículo?				
a) Próprio b) Empresa c) Alugado d) Outro: _____				
2ª Parte da Pesquisa - ORIGEM E DESTINO				
Nesta viagem em que você está realizando, qual é o local no qual você está vindo?				
11 - Estado de Origem:	12 - Município:		13 - Bairro ou Distrito de Origem:	
Nesta viagem em que você está realizando, qual é o local no qual você está indo?				
14 - Estado de Destino:	15 - Município:		16 - Bairro ou Distrito de Destino:	
17 - Qual o tempo estimado da viagem?		18 - Qual a distância estimada da viagem?		
19 - Se ÔNIBUS , realiza parada em alguma cidade? Qual (is)?				
20 - Se ÔNIBUS : a) Empresa de viagem: _____ b) Fretado: _____				
21 - Motivo da viagem				
a) Trabalho	b) A passeio (lazer) ou a visita a parentes	c) A negócios	d) Estudo	
f) Saúde	g) Outros (especificar): _____			
22 - Frequência da Viagem				
a) Diária	b) 1 x por semana	c) 2 x por semana	d) 3 x por semana	e) 1 x por mês
f) 2 x por mês	g) Eventual	h) Outro: _____		
23 - Se CAMINHÃO :	Carga Plena <input type="checkbox"/>	Meia Carga <input type="checkbox"/>	Tipo de Carga: Grãos <input type="checkbox"/> Minério <input type="checkbox"/>	
	Vazio (buscando carga) <input type="checkbox"/>	Vazio (retornando) <input type="checkbox"/>	Alimentos <input type="checkbox"/> Animal <input type="checkbox"/> Madeira <input type="checkbox"/>	Cegonha <input type="checkbox"/> Outro: _____
Se CAMINHÃO :	Tara (T) kg: _____		Líquido (L) kg: _____	
24 - Nas situações em que tem que pagar pedágio, quem é o responsável pelo pagamento?				
a) Você ou sua família / amigos b) Empresa				
25 - Utiliza algum serviço automatizado de pagamento de Pedágio (Sem Parar , Auto Expresso, ConectCar e etc)				
a) SIM b) NÃO				
26 - Na hipótese de implantação de Pedágio na Rodovia, você utilizaria pagamento eletrônico automatizado ?				
a) SIM b) NÃO (por quê?) _____ c) TALVEZ				
27 - Numa escala de 1 a 10 (onde 1 equivale a NÃO MIGRARIA DE FORMA ALGUMA e 10 equivale a MIGRARIA), qual a sua ACEITAÇÃO para mudar a forma de pagamento MANUAL para AUTOMATIZADO do pedágio: _____				
3ª Parte da Pesquisa - Preferência Declarada				
Respostas das Perguntas: 1: _____ 2: _____ 3: _____ 4: _____ 5: _____ 6: _____				
USO DO COORDENADOR : Formulário Válido <input type="checkbox"/> Inválido <input type="checkbox"/>				

Figura 15: Formulário de entrevistas

Para coerência nos resultados das entrevistas é importante além do apoio policial, que os pesquisadores estejam bem treinados e que as pesquisas ocorram nas mesmas seções em que foram realizadas as contagens classificadas de veículos. Como já citado, segurança também é um procedimento importante que

deve ser seguido, por isso as abordagens acontecem sempre em locais que tenham o espaço suficiente para estacionamento adequado dos veículos e segurança dos pesquisadores.

Os pontos selecionados para as entrevistas OD estão apresentados a seguir e identificados na Figura 16.

- Ponto OD01: Seção da BR-316 em Castanhal;
- Ponto OD02: Pesquisa na Balsa de Travessia em Bujaru;
- Ponto OD03: Seção da BR-316 em Ananindeua;
- Ponto OD04: Seção da Alça Viária do Pará;
- Ponto OD05: Seção da PA-252 entre PA-151 e Acesso a Moju;
- Ponto OD06: Seção da BR-010 nas proximidades de Mãe do Rio;
- Ponto OD07: Seção da PA-150 em Morada Nova, Marabá.



obter a amostra mínima de pesquisas válidas para garantir 95% de confiança. Nas figuras seguintes estão alguns registros realizados durante a realização da pesquisa OD / PD.

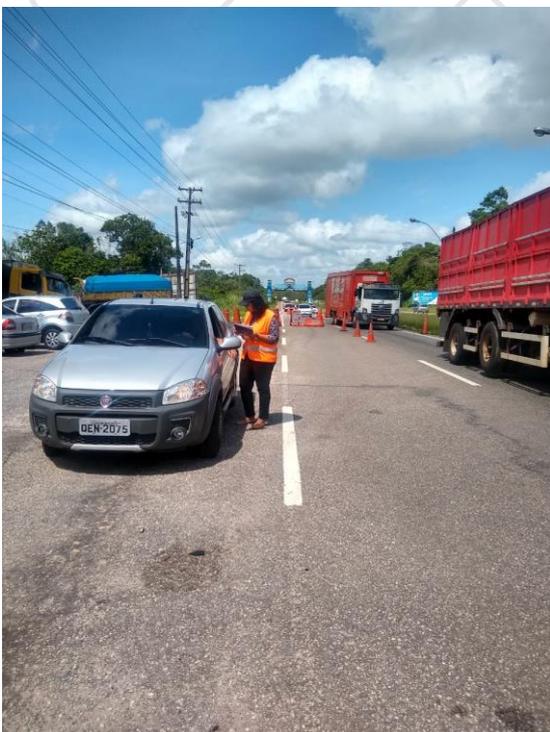




Figura 17: Pesquisa OD / PD em andamento

4.1.3 Pesquisa de preferência declarada

As pesquisas de preferência declarada são utilizadas frequentemente por planejadores de transporte para prever o impacto na demanda de viagens das políticas de transporte como, por exemplo, a introdução de um novo modo de transporte, a mudança nas tarifas de transporte público ou a implantação de sistemas de cobrança viários. As pesquisas tradicionais de preferência declarada são baseadas na resposta de indivíduos sobre suas preferências em situações hipotéticas, em que uma função de utilidade é estimada. A partir dessa função é possível prever o comportamento dos respondentes assim como determinar os valores monetários de atributos contidos nesta função (FUJII; GARLING, 2003).

Os métodos de Preferência Declarada (PD) mais conhecidos são: *conjoint analysis* (análise conjunta, normalmente, a mais utilizada), medida funcional, análise *trade-off* e método *transfer price* (HAIR JR. *et al.*, 2005).

Nas técnicas de análise conjunta, o pesquisador elabora um conjunto de alternativas (hipotéticas ou não), as quais são representadas por um grupo de atributos com valores diferentes, de maneira que o efeito individual de cada atributo possa ser estimado. Isto é possível com a elaboração de um projeto experimental que assegure que as variações nos atributos em cada grupo sejam estatisticamente independentes dos outros.

Segundo Hensher (1994), existem três formas para o tomador de decisão refletir sobre suas preferências: *ranking*, *rating* e *choice*. Um experimento do tipo *ranking* parte do princípio de que o tomador de decisão tem capacidade de ordenar as alternativas de acordo com suas preferências. No experimento do tipo *rating* o analista avalia as suas escolhas por meio de notas dadas às alternativas. Já no experimento do tipo *choice* ou *pairwise choice*, que foi o método utilizado neste trabalho, a escolha é feita por meio de uma comparação de duas alternativas. A vantagem do experimento do tipo *choice* está na simplicidade com a qual as alternativas são apresentadas aos respondentes, o que facilita o processo de escolha. Por este motivo, esta pesquisa utilizou o método *choice*.

A pesquisa de Preferência Declarada fornece os subsídios para calibração do modelo Logit referente ao preço do pedágio que o usuário da via está disposto a pagar.

Para lograr êxito na calibração dos modelos, foram desenvolvidos dois tipos de pesquisa, Tipo A e Tipo B com as finalidades apresentadas em seguinte:

Tipo A: Nesta pesquisa foi apresentada para o usuário a opção de pagar o pedágio em uma rodovia em que aumentará a distância do percurso, porém diminuirá o tempo do trajeto. Nesta pesquisa a rodovia pedagiada é pista simples devidamente sinalizada e ainda conta com serviço de atendimento ao usuário, guincho e ambulância.

A figura seguinte é um exemplo de pergunta da pesquisa Tipo A.

PERGUNTA 1

Qual das alternativas abaixo você escolheria?

A	Rodovia sem pedágio														
B	<p style="text-align: center; font-weight: bold;">Custo Pedágio</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Automóvel</td><td>R\$ 3,00</td></tr> <tr><td>2 Eixos</td><td>R\$ 6,00</td></tr> <tr><td>3 Eixos</td><td>R\$ 9,00</td></tr> <tr><td>4 Eixos</td><td>R\$ 12,00</td></tr> <tr><td>5 Eixos</td><td>R\$ 15,00</td></tr> <tr><td>6 Eixos</td><td>R\$ 18,00</td></tr> </table>	Automóvel	R\$ 3,00	2 Eixos	R\$ 6,00	3 Eixos	R\$ 9,00	4 Eixos	R\$ 12,00	5 Eixos	R\$ 15,00	6 Eixos	R\$ 18,00	<p style="text-align: center; font-weight: bold;">Aumento do trajeto + 10 km</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">Economia de tempo -15 min</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>	
Automóvel	R\$ 3,00														
2 Eixos	R\$ 6,00														
3 Eixos	R\$ 9,00														
4 Eixos	R\$ 12,00														
5 Eixos	R\$ 15,00														
6 Eixos	R\$ 18,00														

Figura 18: Exemplo de pergunta Tipo A

Tipo B: Nesta pesquisa foi apresentada para o usuário a opção de pagar o pedágio em uma rodovia de pista simples devidamente sinalizada e ainda com serviço de atendimento ao usuário, guincho e ambulância ou trafegar em uma rodovia com pavimento regular (sem sinalização) e que gastará um tempo maior de deslocamento, sem pedágio.

O objetivo da pesquisa do Tipo B foi encontrar a tarifa ótima frente a opção do usuário de passar por uma rodovia sem pedágio, mas que terá um tempo maior de deslocamento.

Esse tipo de pesquisa foi aplicado nas demais rodovias de estudo. A figura seguinte é um exemplo de pergunta da pesquisa Tipo B.

PERGUNTA 1

Qual das alternativas abaixo você escolheria?

A	<p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Rodovia sem pedágio</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">Acréscimo de tempo +60 min</p>													
B	<p style="text-align: center; font-weight: bold;">Custo Pedágio</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Automóvel</td><td>R\$ 9,00</td></tr> <tr><td>2 Eixos</td><td>R\$ 18,00</td></tr> <tr><td>3 Eixos</td><td>R\$ 27,00</td></tr> <tr><td>4 Eixos</td><td>R\$ 36,00</td></tr> <tr><td>5 Eixos</td><td>R\$ 45,00</td></tr> <tr><td>6 Eixos</td><td>R\$ 54,00</td></tr> </table>	Automóvel	R\$ 9,00	2 Eixos	R\$ 18,00	3 Eixos	R\$ 27,00	4 Eixos	R\$ 36,00	5 Eixos	R\$ 45,00	6 Eixos	R\$ 54,00	 
Automóvel	R\$ 9,00													
2 Eixos	R\$ 18,00													
3 Eixos	R\$ 27,00													
4 Eixos	R\$ 36,00													
5 Eixos	R\$ 45,00													
6 Eixos	R\$ 54,00													

Figura 19: Exemplo de Pesquisa Tipo B

A técnica utilizada para elaboração dos cadernos de pesquisa foi o Experimento Fatorial Completo (*Full Factorial Design*), utilizando o *software* MiniTab, em que o experimento dos fatores nos diferentes níveis resultou em 18 possíveis combinações, para as pesquisas Tipo A e Tipo B.

Para compor a pesquisa, foram considerados diferentes níveis, variações, dos atributos pesquisados, conforme apresentado nas Tabelas a seguir.

- Níveis e Atributos – Tipo A

Tabela 3: Níveis e Atributos Pesquisa Tipo A

Velocidade na Rodovia pedagiada	Distância a mais na rodovia pedagiada	Pedágio
60 km/h	10 km	R\$ 3,00
70 km/h	20 km	R\$ 6,00
80 km/h	-	R\$ 9,00

- Níveis e Atributos – Tipo B

Tabela 4: Níveis e atributos pesquisa Tipo B

Tarifas	Serviço	Tempo adicional
R\$ 3,00	Ambulância e Guincho	30 min
R\$ 6,00	Ambulância	45 min
R\$ 9,00	-	60 min

Segundo Senna e Michel (2000), o número máximo de exposições que uma mesma pessoa está disposta a responder são 10 questões, neste sentido, cada caderno foi montado com 6 perguntas. As combinações estão apresentadas nas tabelas seguintes. No caso dos veículos comerciais, o preço na pesquisa foi discriminado por eixo.

Nos tópicos seguintes são apresentadas as divisões por cadernos das pesquisas Tipo A e Tipo B

- Modelagem cadernos Tipo A

Tabela 5: Montagem dos cadernos pesquisa Tipo A

Caderno	Pergunta	Economia de tempo	Distâncias a mais	Pedágios
1	1	15	10	R\$ 9,00
1	2	30	20	R\$ 6,00
1	3	35	10	R\$ 9,00
1	4	25	10	R\$ 6,00
1	5	5	20	R\$ 6,00
1	6	15	10	R\$ 3,00
2	1	30	20	R\$ 9,00
2	2	20	20	R\$ 6,00
2	3	25	10	R\$ 9,00
2	4	35	10	R\$ 3,00
2	5	5	20	R\$ 9,00
2	6	30	20	R\$ 3,00
3	1	20	20	R\$ 9,00
3	2	25	10	R\$ 3,00
3	3	35	10	R\$ 6,00
3	4	5	20	R\$ 3,00
3	5	15	10	R\$ 6,00
3	6	20	20	R\$ 3,00

- Modelagem cadernos Tipo B

Tabela 6: Montagem dos cadernos pesquisa Tipo B

Caderno	Pergunta	Tarifas	Serviço	Tempo adicional
1	1	R\$ 9,00	Ambulância e Guincho	60 min
1	2	R\$ 6,00	Ambulância	45 min
1	3	R\$ 3,00	Ambulância	30 min
1	4	R\$ 9,00	Ambulância e Guincho	45 min
1	5	R\$ 6,00	Ambulância	30 min
1	6	R\$ 3,00	Ambulância e Guincho	60 min
2	1	R\$ 9,00	Ambulância	60 min
2	2	R\$ 6,00	Ambulância e Guincho	30 min
2	3	R\$ 9,00	Ambulância	30 min

Caderno	Pergunta	Tarifas	Serviço	Tempo adicional
2	4	R\$ 3,00	Ambulância e Guincho	45 min
2	5	R\$ 6,00	Ambulância e Guincho	45 min
2	6	R\$ 3,00	Ambulância	60 min
3	1	R\$ 9,00	Ambulância e Guincho	30 min
3	2	R\$ 6,00	Ambulância	60 min
3	3	R\$ 6,00	Ambulância e Guincho	60 min
3	4	R\$ 9,00	Ambulância	45 min
3	5	R\$ 3,00	Ambulância	45 min
3	6	R\$ 3,00	Ambulância e Guincho	30 min

4.2 PROCESSAMENTO DAS PESQUISAS

4.2.1 Obtenção do VDM (Volume Médio Diário)

À média dos volumes de veículos que circulam durante 24 horas em um trecho de via é dada a designação de “Volume Médio Diário” (VDM). Ele é computado para um intervalo de tempo representativo, o qual, salvo indicação em contrário, é de um ano.

Esse volume, que melhor representa a utilização ou serviço prestado pela via, é usado para indicar a necessidade de novas vias ou melhorias das existentes, estimar benefícios esperados de uma obra viária, determinar as prioridades de investimentos, calcular taxas de acidentes, prever as receitas dos postos de pedágio, dentre outros.

No entanto, pode ocorrer a situação em que o volume pesquisado seja diferente do volume normal da rodovia. Tal fato pode ser verificado devido a *N* fatores como por exemplo, realização das contagens em mês de férias, período de manifestações e/ou paralisações nas rodovias, feriados prolongados em determinadas regiões, rodovias de veraneio e afins.

Dito isso, faz-se mister a correção do tráfego (VDM) para se equiparar com o tráfego natural da região/trecho, essa correção está denominada neste relatório como “Fator de Sazonalidade”.

O gráfico a seguir ilustra uma situação onde é possível perceber a variação do VDM em relação ao Volume Médio Diário Anual (VDMA).

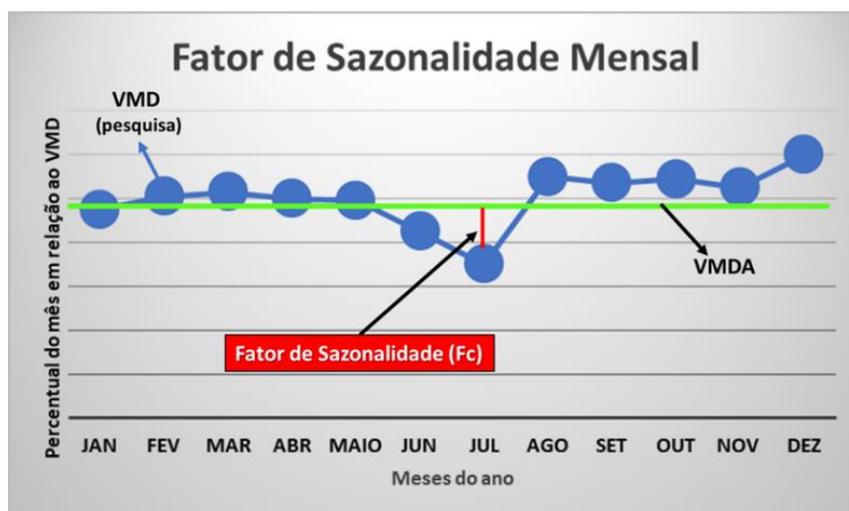


Figura 20: Ilustração do Fator de Sazonalidade Mensal

Neste caso exemplificado no gráfico, o VMD de pesquisa foi ligeiramente maior que o volume médio anual, assim o fator de sazonalidade tende a reduzir o volume de modo a se igualar com a média.

Para correção sazonal dos volumes obtidos a partir da média dos dias das contagens de tráfego de cada posto, denominado VMD, é necessário a utilização de outros dados secundários de contagem de tráfego (séries históricas) que tenham sido efetivamente contados, ao longo do ano, para se chegar ao fator de correção (Fc).

Para obter o Fc, o cenário ideal seria a existência de contagens anuais, semelhante ao PNCT (Plano Nacional de Contagem de Trânsito) nos trechos ou próximos dos postos de aferição do estudo em questão, o que não foi possível. Todavia, existem dois equipamentos do DNIT instalados na região de interesse e que são adequados para representar o Fc.

O equipamento de contagem contínua utilizado está localizado na BR-155 em Marabá/PA. Na Tabela 7 estão dispostos os dados do VMD em relação à média, por pista e por tipo de veículo, com detalhe para o mês de agosto (mês de realização das pesquisas).

Tabela 7: Fatores de Correção Sazonal (Fc) na BR-155 km 336

Fator de Correção (Fc Sazonal)				
BR-155 km 336 - Ano 2019				
Sentido	Crescente		Decrescente	
	Leves	Pesados	Leves	Pesados
Jan	0,97	0,89	0,97	0,88
Fev	0,98	1,12	0,99	1,07
Mar	1,03	1,02	1,00	0,99
Abr	0,97	0,96	0,98	1,00
Mai	0,97	1,01	0,99	1,02
Jun	0,96	1,03	0,97	1,03
Jul	1,15	0,99	1,20	0,99
Ago	0,96	0,99	0,96	0,99
Set	0,96	0,99	0,97	0,99
Out	0,97	1,01	0,96	1,03
Nov	0,96	0,97	0,96	0,99
Dez	1,14	1,03	1,06	1,01

Para o mês das pesquisas, agosto, o fator de correção a ser utilizado para leves é de 0,960 e para pesados é de 0,990.

Adicionalmente, buscou-se identificar o padrão de deslocamento de veículos pesados em direção ao Porto de Vila do Conde, importante centro logístico da região. A Tabela 8 indica essa movimentação, com destaque para o mês de agosto.

Tabela 8: Fatores de Correção Sazonal (Fc) - Movimentação de Mercadorias no Porto Vila do Conde 2021

Vilado Conde	Média 2021	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Carga Geral	29.686	0,77	0,78	0,73	0,80	0,97	1,43	0,86	2,47	0,60	0,66	0,94	0,99
Granel Sólido	1.095.085	0,80	0,82	1,20	1,16	1,12	1,12	0,95	1,06	0,97	0,83	0,96	1,02
Granel Líquido	165.477	0,65	1,32	0,94	0,90	1,07	1,18	0,87	1,12	0,97	1,06	0,86	1,07
Contêiner	125.549	0,75	1,28	1,07	1,49	0,93	1,17	1,04	1,05	0,86	0,67	0,62	1,07
Total Vila do Conde	1.415.799	0,77	0,92	1,14	1,15	1,10	1,14	0,95	1,10	0,95	0,84	0,92	1,03

Para o Porto de Vila do Conde, a maior movimentação corresponde a cargas do tipo Granel Sólido e Granel Líquido. Sendo assim, para o mês de agosto, foi considerada uma média de Fc de 1,088 entre esses tipos de carga. Para os pesados em geral, adotou-se ao final uma média entre o Fc de pesados da BR-155 e a movimentação no porto, como indica a Tabela 9.

Tabela 9: Fatores de Correção

TIPO	BR-155	PORTO	FC	VALOR
Leves	0,960	-	BR-155	0,960

Pesados	0,990	1,088	MÉDIA ENTRE BR-155 E PORTO	1,039
---------	-------	-------	----------------------------	-------

Por segurança, para leves será adotado como "Fc = 1" quando for menor que 1.

De posse dos fatores de correção sazonal procede-se, portanto, com a vinculação de cada um dos postos de pesquisa ao ponto de contagem continua mais adequado (no que diz respeito à localização) e a partir daí faz-se a correção do VDM para VDMA da seguinte forma:

$$VMDA = \frac{VMD}{F_c}$$

Onde:

- **VDMA** = Volume Médio Diário Anual
- **VDM** = Volume Médio Diário (média contagem)
- **Fc** = Fator de correção

4.2.2 Obtenção do VHP (volume horário de projeto)

As avaliações de Nível de Serviço devem ser realizadas para a 50ª hora de maior volume de tráfego, conforme recomendações do DNIT.

De acordo com o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, quando se dispõe de contagens horárias contínuas de uma rodovia que abranjam um período de um ano inteiro, pode-se determinar o volume horário a ser usado no projeto através do critério denominado "curva da enésima hora". Essa curva consiste na ordenação decrescente de todos os volumes horários anuais, expressos em percentagem do Volume Médio Diário (VDM), designado como fator K.

Deste modo, adotou-se o fator K 50 para determinação do Volume Horário de Projeto (VHP).

No entanto, como as rodovias em questão não possuem contagens horárias contínuas durante o período de um ano para que fosse possível determinar por meio do gráfico da relação entre a hora e o volume horário de tráfego.

Assim, o fator K 50 adotado foi o disponível no site do DNIT – PNCT (Plano Nacional de Contagem de Tráfego) da BR-155/PA no km 336, localizado na cidade de Marabá, conforme apresentado na figura a seguir.

Localização: BR-155/PA km 336

Pista: Simples

Município/UF: Marabá/PA

Coord. Geo.: Lat: -5.429078, Long: -49.076167

Data de Início de Operação: 30/12/2014

Obs: Dados em Unidade de Tráfego Misto

VMDA Ano 2018	
321 dias considerados	
Crescente	1896
Decrescente	1827
Total	3723

 2015 2016 2017 **2018**

 Volume Horário Volume Total Diário VMDd VMDs VMDm **Fator K**

Sentido	VMDA	Fator K				
		1ª hora	30ª hora	50ª hora	100ª hora	200ª hora
Crescente	1896	0.1324	0.1044	0.0997	0.0949	0.0876
Decrescente	1827	0.1445	0.1034	0.0985	0.0903	0.0843

Obs: 321 dias considerados

 $Fator K = VH / VMDA$

Figura 21: Fator K 50ª hora

O fator K adotado, portanto será de 9,97% para a pista no sentido crescente da quilometragem e 9,85% para a pista decrescente.

4.3 OBTENÇÃO DA MATRIZ ORIGEM-DESTINO

Uma das principais etapas de um estudo de projeção de tráfego é, sem dúvida, a determinação da quantidade de deslocamentos que são realizados entre as diversas zonas de tráfego (ZT's), isto é, locais geográficos de origem e/ou destino de uma viagem.

Via de regra, as matrizes expressam o número de viagens entre uma determinada zona de origem para uma determinada zona de destino, daí o nome "matriz OD", e o total de viagens é obtido a partir das entrevistas que são realizadas em campo, por meio da pesquisa OD.

Como já exposto em capítulos anteriores, foram realizadas pesquisa de Origem e Destino em 6 postos da rodovias em questão e em um ponto na BR-010.

Logo, para obtenção das matrizes Origem e Destino foi necessário realizar tratamentos dos dados para cada ponto, estratificando-se os dados pelas categorias dos veículos e por sentido para a correta expansão com base no VDM. As categorias de veículos analisadas foram veículos leves, veículos comerciais leves (pesados com até 4 eixos) e veículos comerciais pesados (a partir de 5 eixos).

A obtenção de matrizes individuais por ponto é necessária para eliminação de pares coincidentes, ou seja, um mesmo par OD ser registrado em pontos diferentes de pesquisa.

Tal procedimento de obtenção das matrizes separadamente por ponto, se faz necessária pelos motivos expostos abaixo:

- Expansão das amostras com base no VDM do trecho e por sentido.
- A expansão da matriz OD das amostras foi feita considerando o seguinte cálculo:

$$V_{i-j} = \frac{\sum \text{Frequência}_{i-j} \times \text{VMD}}{\sum \text{Frequência}_{OD}}$$

Onde:

$\sum \text{Frequência}_{i-j}$ = Somatório do peso das frequências de uma determinada viagem i-j;

VDM = Volume Médio Diário do sentido e do trecho analisado;

$\sum \text{Frequência}_{OD}$ = Somatório do peso das frequências de toda a matriz.

O peso da frequência das viagens foi determinado conforme tabela seguinte:

Tabela 10: Peso da frequência das viagens

Frequência da viagem	Peso
Diária	1
1 x por semana (1/7 dias)	0,142857
2 x por semana (2/7 dias)	0,285714
3 x por semana (3/7 dias)	0,428571
1 x por mês (1/30 dias)	0,033333
2 x por mês (2/30 dias)	0,066667
Eventual (1/90 dias e frequências menores)	0,01

A matriz expandida completa da rodovia se encontra em capítulos posteriores.

É importante destacar que as origens e os destinos utilizados para a criação das matrizes OD seguiram a seguinte lógica:

- Primeiro nível: municípios do estado do Pará;
- Segundo nível: demais estados da federação segundo classificação do IBGE.

4.4 CALIBRAÇÕES DO MODELO LOGIT

O modelo de regressão logística é semelhante ao modelo de regressão linear. No entanto, no modelo logístico a variável resposta Y_i é binária. Uma variável binária assume dois valores, como por exemplo, $Y_i = 0$ e $Y_i = 1$ denominados "fracasso" e "sucesso", respectivamente. No presente estudo, "sucesso" é a **adesão ao pedágio**.

No modelo linear temos:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$$

A variável resposta Y tem distribuição Bernoulli $(1, \pi)$, com probabilidade de sucesso $P(Y_i = 1) = \pi_i$ e de fracasso $P(Y_i = 0) = 1 - \pi_i$. Desta forma:

$$P(Y_i) = \pi_i$$

Igualando-se os valores de Y_i , temos:

$$\pi_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$$

Muitas funções foram propostas para a análise de variáveis com respostas dicotômicas. Dentre elas a mais simples é a que dá origem ao modelo logístico. Do ponto de vista estatístico este modelo é bastante flexível e de fácil interpretação.

Um modelo de regressão logística pode ser usado para o caso de regressão com uma variável ou mais variáveis explicativas.

Suponha uma amostra de n observações independentes da terna $(x_i, m_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$, sendo que:

- x_i é o valor da variável explicativa;
- m_i é a quantidade de itens verificados na amostra (número de ensaios);
- y_i número de ocorrência de um evento (exemplo: quantidade de peças não conforme) em m_i ensaios; e
- n é o tamanho da amostra.

Com isso, assume-se que a variável resposta tem distribuição de probabilidade binomial ($Y_i \sim B(m_i, \pi_i)$), tal que:

$$P[Y_i = y_i] = \binom{m_i}{y_i} \pi_i^{y_i} (1 - \pi_i)^{m_i - y_i}.$$

Para adequar a resposta média ao modelo linear usamos a função de ligação:

$$\pi(x_i) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p}}, i = 1, \dots, n$$

Onde β_i são os parâmetros estimados do modelo.

A transformação que está por trás do modelo logístico é a chamada transformação *Logit*. É uma função linear nos parâmetros β , contínua e que pode variar de $-\infty$ a $+\infty$:

$$\text{logit}(x) = \ln\left(\frac{\pi_i}{1 - \pi_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$$

Hosmer e Lemeshow (1989 *apud* Bittencourt, 2003) dizem que há pelo menos duas razões para utilização do modelo logístico na análise de variáveis-resposta dicotômicas: 1) de um ponto de vista matemático, é extremamente flexível e fácil de ser utilizado; 2) permite uma interpretação de resultados bastante rica e direta.

Conforme Bittencourt (2003), a Figura 22 apresenta a função logística com o seu característico formato em 'S' e a relação linear entre uma única variável x e o Logit $g(x)$.

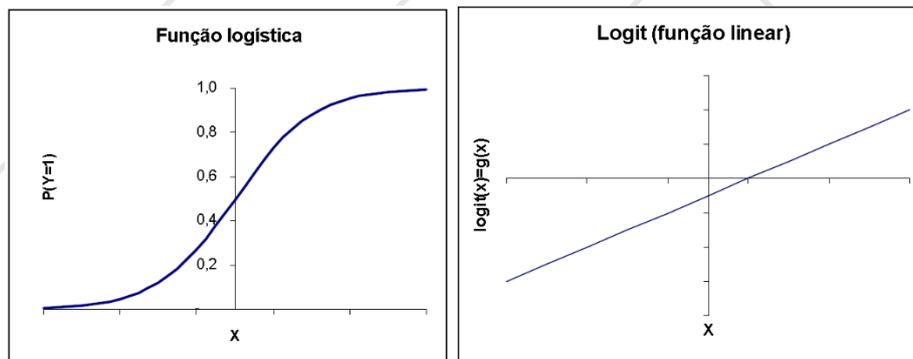


Figura 22: Função logística e a relação logística

O objetivo da calibração do modelo Logit para este trabalho é obter, por meio das pesquisas de preferência declarada, os percentuais de adesão dos usuários da rodovia por meio da análise comparativa entre duas possibilidades de rota: Pedagiada e Não pedagiada, frente a avaliação de fatores como:

- Preço do pedágio – Variável Quantitativa contínua;
- Condição da via pedagiada – Variável qualitativa nominal;
- Tempo adicional no desvio - Variável Quantitativa contínua;
- Condição da rota de desvio – Variável qualitativa nominal.

No processo de calibração dos modelos, para que fosse obtido uma equação válida, foram eliminados da modelagem os usuários inelásticos, ilógicos e cansados conforme descrições seguintes:

- **Inelásticos:** Que respondiam tudo A ou tudo B, ou seja, que eram indiferentes a implantação ou não do pedágio;

- **Ilógicos:** Basicamente foram descartados os usuários de extremos, ou seja, que pagavam R\$ 10,00 no pedágio, mas que faziam um desvio quando o pedágio era de R\$ 2,00;
- **Cansados:** Foram considerados usuários cansados aqueles que respondiam as 2 primeiras perguntas com variação, ou seja, analisando os critérios apresentados no caderno e da 3ª pergunta em diante respondiam uma mesma resposta;
- **Empresa:** Foram descartados também aqueles em que a empresa era responsável pelo pagamento.

É válido mencionar também, que nos cálculos de adesão dos usuários, são eliminadas as perguntas que possuem adesão total (100%) ou nenhuma adesão (0%) uma vez que:

$$\Delta U = \text{Ln} \left(\frac{1}{\text{Prob}_A} - 1 \right)$$

Se Prob_A é igual a 100% (1) tem-se o resultado igual a 0 e Ln de 0 não existe e no caso de Prob_A igual a 0, não é possível efetuar divisão por zero, então não é possível calcular.

Para avaliação da qualidade do modelo obtido por meio de regressão, são avaliados alguns parâmetros descritos a seguir:

- Coeficiente de correlação (R múltiplo ou r Pearson): Mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas. É um índice adimensional com valores situados entre -1,0 e 1,0. Segundo Freitas (2009) o valor do r de Pearson acima de 0,70 (positivo ou negativo) indica uma forte correlação, de 0,30 a 0,70 (positivo ou negativo) indica correlação moderada e, de 0 a 0,30 (positivo ou negativo), fraca correlação;
- Coeficiente de determinação (R^2): Indica a proporção da variação de Y que é explicada pela regressão. O valor de R^2 varia no intervalo de 0 a 1. Valores próximos de 1 indicam que o modelo proposto é adequado para descrever o fenômeno;
- Erro-padrão de estimativa: É calculado a partir da raiz quadrada da variância residual (S^2) podendo ser considerado como um desvio padrão que mede a dispersão em torno da reta de regressão.

Além da análise dos parâmetros apresentados, devem ser realizados testes de hipótese que de acordo com Queiroz (2011) são realizados a fim de determinar se hipóteses feitas sobre estes parâmetros são suportadas por evidências obtidas a partir de dados amostrais.

Para avaliação do modelo obtido foi aplicado o teste T com a distribuição t de Student de significância dos coeficientes e o teste F com a distribuição Snedecor para avaliação de significância do modelo.

- Teste T: Em um modelo de regressão, é feita a inferência sobre os coeficientes para se ter a verificação da existência ou não da associação entre as variáveis envolvidas dado um nível de confiança α (95%). Como hipótese nula tem-se $H_0: b = 0$ e hipótese alternativa tem-se $H_1: b \neq 0$. O critério de rejeição da hipótese nula é se T calculado da regressão for maior que o valor de t (tabelado) para $n-2$ graus de liberdade (em que n representa o número de observações) e se o P-valor associado ao teste for menor do que α ;
- Teste F: Do mesmo modo como o teste T, como hipótese nula tem-se $H_0: b = 0$ e hipótese alternativa tem-se $H_1: b \neq 0$. Se não rejeitamos H_0 , concluímos que não existe relação significativa entre as variáveis explicativa (X) e dependente (Y);
- Os coeficientes estimados são também submetidos as análises de intervalo de confiança (IC95%) em que os parâmetros devem estar contidos neste intervalo.

Por fim, conforme Rodrigues (2007), uma outra forma também para avaliação de modelos calibrados é aplicá-los aos próprios objetos/dados de estudo, adotando-se assim a metodologia do erro médio absoluto percentual, que pode ser obtido pela equação a seguir:

$$E_{ma}\% = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|X_{ci} - X_{ri}|}{X_{ri}}}{n} \times 100\%$$

Onde:

$E_{ma}\%$ = erro médio absoluto percentual;

X_{ri} = Medida real;

X_{ci} = Medida obtida a partir do modelo calibrado;

n = total de observações

4.5 CENÁRIOS DE ALTERAÇÃO DA DEMANDA

Para realização deste estudo e devido a amarrações da cobrança de pedágio x obras e ainda as incertezas do cenário econômico, vários cenários foram avaliados. Eles estão apresentados a seguir. Todos os cenários partiram do cenário **Base**, variando as taxas de crescimento de tráfego conforme explanado adiante.

4.5.1 Expansão do Tráfego Anual

É sabido que ao passar dos anos o tráfego pode sofrer uma variação por, principalmente, dois motivos, simultâneos ou não. (1) Crescimento natural, ou conhecido também como crescimento vegetativo, o qual

ocorre pelo simples desenvolvimento da economia nacional e regional. (2) Crescimento induzido por alguma intervenção na rodovia, seja obra de ampliação de capacidade, seja obra de melhoria de infraestrutura.

Diante disso, prever como o tráfego varia ao longo dos anos tem sido uma das tarefas mais complexas em estudos de projeção, sobretudo em tempos de crise e incertezas comerciais/econômicas, por esse motivo e devido à complexidade peculiar no que tange a projeção de tráfego das rodovias em questão. Em estudos de tráfego de modo geral adota-se a premissa de que o tráfego projetado varia de acordo com a flutuação do PIB.

- Cenário PIB-Brasil

Durante a elaboração das premissas de projeção desprezou-se o crescimento do tráfego induzido por melhorias associadas, dado que as vias em estudo já possuem tráfego consolidado.

Assim, definidas as taxas de crescimento em cada um dos cenários (que serão explanadas mais adiante) se procede com a expansão do tráfego através da seguinte equação:

$$Volume_{futuro} = Volume_{atual} \times (1 + taxa)^n$$

Onde n representa o ano futuro e taxa corresponde ao valor de projeção a ser adotado para crescimento de acordo com os cenários supra.

4.5.1.1 Cenário PIB-Brasil

O cenário **PIB-Brasil** é o cenário que será considerado “padrão” do estudo de tráfego, logo, todas as análises de nível de serviço e número N serão desenvolvidas a partir dele. Já para a modelagem econômico-financeira serão avaliadas todas as possibilidades de receita entre os cenários de projeção propostos.

Neste cenário os valores que foram adotados para o crescimento de tráfego foi de **2,26%** a.a. para veículos leves e comerciais, conforme projeção emitida pelo relatório de mercado do Branco Central no relatório FOCUS que data de 02 de setembro de 2022.

Mediana - Agregado	2022						
	Há 4 semanas	Há 1 semana	Hoje	Comp. semanal *	Resp. **	5 dias úteis	Resp. ***
IPCA (variação %)	7,11	6,70	6,61	▼ (10)	143	6,27	56
PIB Total (variação % sobre ano anterior)	1,98	2,10	2,26	▲ (10)	103	2,38	45
Câmbio (R\$/US\$)	5,20	5,20	5,20	= (6)	116	5,20	36
Selic (% a.a)	13,75	13,75	13,75	= (11)	134	13,75	41

Figura 23: Projeção PIB-Brasil

A taxa de crescimento do PIB Nacional adotada foi de **2,26%** a.a. a partir de 2022 para leves e pesados. Visto que esta taxa já se apresenta relativamente baixa se comparada com o previsto em anos anteriores para o crescimento médio anual da economia brasileira nesta década, admitiu-se neste estudo a não necessidade de se estabelecer um cenário pessimista de crescimento da economia.

4.5.1.2 Cenário Outros Estudos

A consultora, avaliando outros estudos realizados em outros tempos para o mesmo trecho, encontrou taxas de crescimento de tráfego que variavam de 2,63% a.a. até 3,19% a.a.

As taxas encontradas durante as análises dos demais estudos eram de **3,05%** a.a. para automóveis e **2,67%** a.a. para veículos pesados (caminhões e ônibus).

4.5.1.3 Cenário Otimista – PELT-PA

Em outra análise, agora do Plano Estadual de Logística de Transporte do Pará, verificou-se algumas outras projeções mais otimistas, esperando um crescimento da ordem de **3,5%** a.a.

Portanto, além das taxas esperadas (cenário PIB Brasil) podem ser testadas tais taxas.

4.6 AVALIAÇÃO DE NÍVEL DE SERVIÇO

A análise da capacidade e do nível de serviço em rodovias é um assunto muito recorrente em projetos de engenharia de tráfego. Internacionalmente, o método mais utilizado para isso é o trazido pelo Highway Capacity Manual (HCM). O HCM é desenvolvido pelo Transportation Research Board (TRB), nos Estados Unidos.

Nível de serviço é uma quantificação estratificada de medição de performance que representa a qualidade do serviço. Ele é influenciado por vários fatores como, por exemplo, o volume e a velocidade. O nível de serviço fornece uma medida de conforto do usuário e a liberdade de manobras ao utilizar a rodovia. Ele é designado por LOS, do inglês *Level Of Service*.

Os níveis de serviço definidos pelo HCM são 6: A, B, C, D, E e F. O limite entre os níveis de serviço E e F corresponde ao valor da capacidade da rodovia

Apesar do nível de serviço ser uma medida qualitativa, ele está associado a fatores de desempenho da via, podendo ainda ser feita uma relação aproximada com o fator demanda (volume) e capacidade (V/C).

A seguir são apresentadas as características de cada nível de serviço, que são ilustrados na Figura 24.

Nível de serviço A: Corresponde a uma situação de fluidez do tráfego, com baixo fluxo de tráfego e velocidades altas, somente limitadas pelas condições físicas da via. Os condutores não se veem forçados a manter determinada velocidade por causa de outros veículos.

Nível de serviço B: Corresponde a uma situação estável, em que não se produzem mudanças bruscas na velocidade, ainda que esta começa a ser condicionada por outros veículos. Os condutores podem manter velocidades razoáveis e em geral escolhem a faixa de tráfego por onde circulam. Os limites inferiores de velocidade e fluxo que definem este nível são análogos aos normalmente utilizados para o dimensionamento de vias rurais. A relação V/C se situa entre 0,35 e 0,5.

Nível de serviço C: Corresponde a uma circulação estável, mas a velocidade e a manobrabilidade estão consideravelmente condicionadas pelo resto do tráfego. As ultrapassagens e a troca de faixa são mais difíceis, mas as condições de circulação são ainda toleráveis. Os limites inferiores de velocidade e fluxo são análogos aos normalmente utilizados para o dimensionamento de vias urbanas. A relação V/C se situa entre 0,5 e 0,75.

Nível de serviço D: Corresponde a uma situação que começa a ser instável, quer dizer, em que se produzem trocas bruscas e imprevistas na velocidade e a manobrabilidade dos condutores está muito restringida pelo resto do tráfego. Nesta situação, aumentos pequenos no fluxo obrigam a trocas importantes na velocidade. Ainda que a situação não seja cômoda, pode ser tolerada durante períodos não muito longos. A relação V/C situa-se entre 0,5 e 0,9.

Nível de serviço E: Supõe que o tráfego é próximo da capacidade da via e as velocidades são baixas. As paradas são frequentes, sendo instáveis e forçadas as condições de circulação. A relação V/C atinge o valor 1.

Nível de serviço F: O nível F corresponde à situação de congestionamento, quando a demanda excede a capacidade da rodovia. A circulação é muito forçada, com velocidades muito baixas e formação de filas.

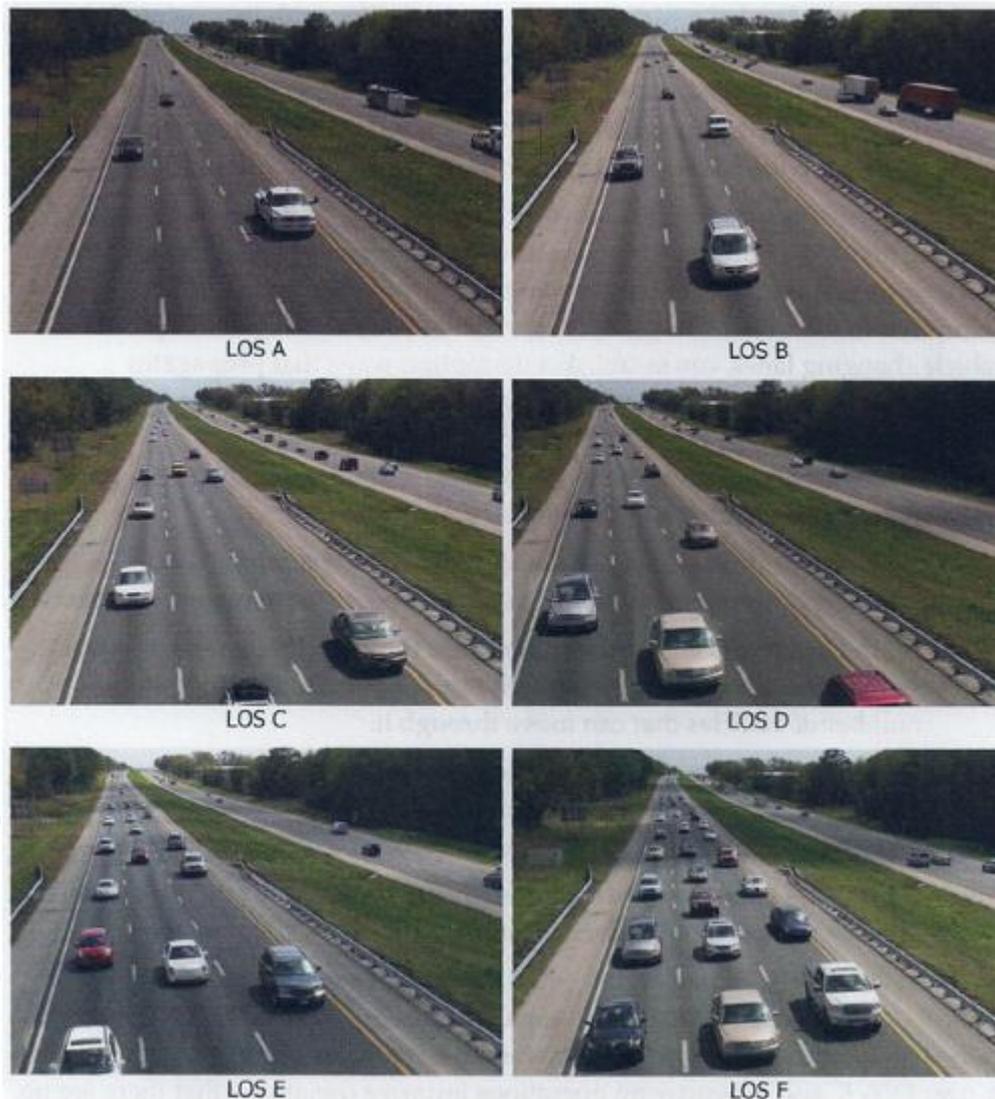


Figura 24: Situações em uma rodovia respectivas aos diferentes níveis de serviço do HCM

O HCM modela o fluxo do tráfego com base em condições básicas de tráfego, que são próximas a condições ideais de tráfego. Contudo, as rodovias podem não apresentar estas mesmas condições, apresentando as suas condições prevalentes, mais restritivas do que as condições ideais. A aplicação do método para as condições prevalentes de uma rodovia se dá pela transformação da capacidade e da demanda por meio de alguns parâmetros.

As condições básicas do HCM definem a capacidade das rodovias em relação às suas características físicas, como por exemplo largura de faixas, largura de acostamento e tipo de divisor central, e pelas condições do tráfego no local, como por exemplo pelas classes de veículos e pela velocidade.

4.6.1 Rodovias de duas faixas com sentidos de tráfego contrários (pista simples)

Rodovias de duas faixas com sentidos de tráfego contrários são conhecidas também por "rodovias de pista simples". São rodovias não divididas, com duas faixas, cada uma usada pelo tráfego em uma direção. Estas rodovias são caracterizadas por haver manobras de ultrapassagem utilizando a faixa de tráfego contrário. As manobras são limitadas pela existência de brechas na corrente de tráfego oposta e também pela avaliação de distância suficiente e segura para ultrapassagem. Pelo acréscimo do fluxo de tráfego, as oportunidades de ultrapassagem diminuem. Então acontece a formação de pelotões na corrente de tráfego, com veículos em comboio.

O HCM utiliza uma classificação específica para as rodovias de duas faixas com sentidos de tráfego contrários. A classe da rodovia determina como é avaliado o seu nível de serviço.

Classe I

Expectativa de velocidade relativamente alta;
Principais rotas entre cidades;
Arteriais primárias conectando geradores de tráfego;
Rotas de uso diário;
Ligações primárias federais e estaduais;
Viagens de longa distância.

Classe II

Sem expectativa de viajar em alta velocidade;
Acessos para rodovias de classe I;
Rotas turísticas e recreacionais;
Passam por terreno acidentado;
Viagens curtas, porções iniciais ou finais de viagens longas.

Classe III

Servem áreas de desenvolvimento moderado,
Segmentos de rodovias classe I ou II que atravessam pequenas cidades ou áreas recreacionais;
O tráfego local se mistura com o tráfego de passagem, com alta densidade de pontos de acesso;
Segmentos longos que atravessam áreas recreacionais espalhadas;
Muitas vezes com redução do limite de velocidade.

A Figura a seguir ilustra dois exemplos de cada classe, trazidos no HCM 2010.

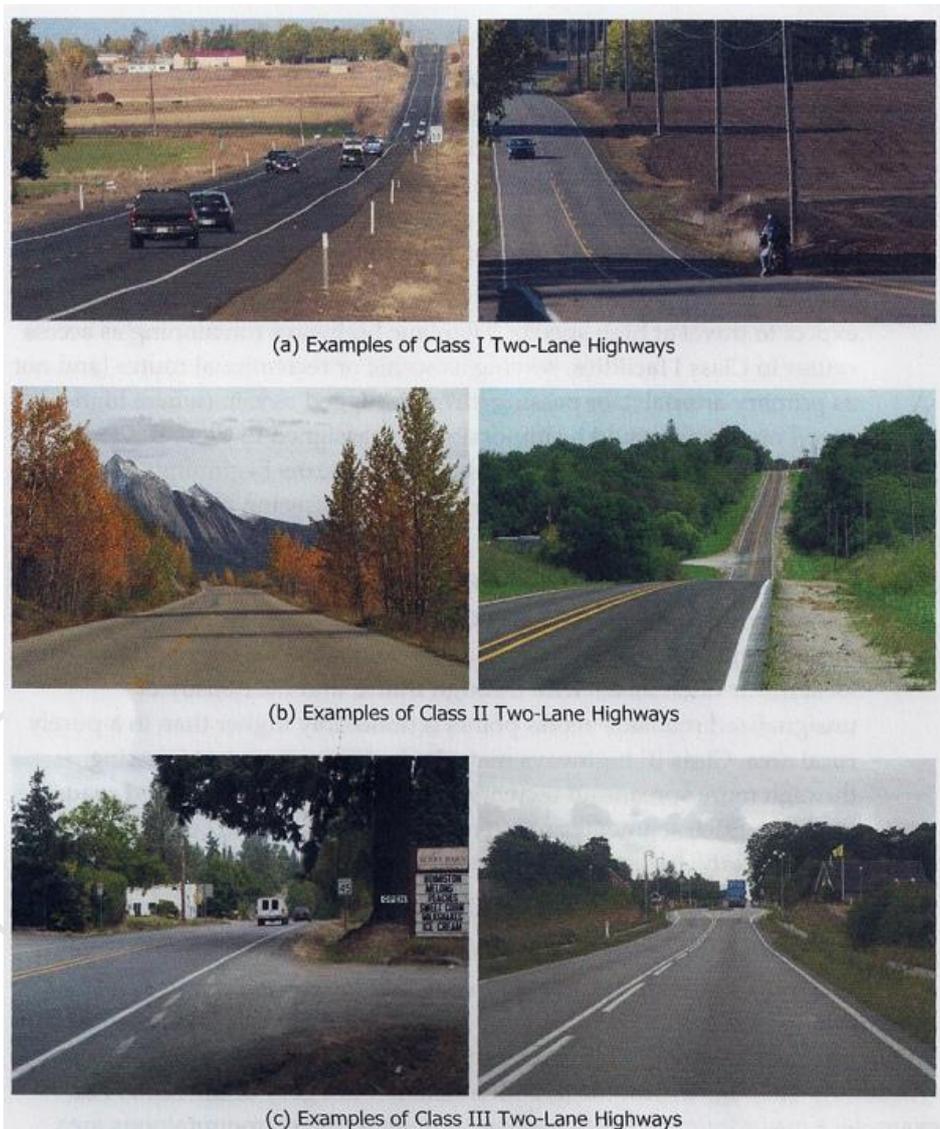


Figura 25: Exemplos de rodovias de duas faixas com sentidos de tráfego contrários

O HCM traz ainda a seguinte consideração sobre a definição da classe de uma rodovia de pista simples: "O principal determinante para a classificação de uma instalação (*facility*) é a expectativa do motorista, que pode não estar de acordo com a sua classificação funcional geral". Ressalta-se, ainda, que a caracterização de classe pode variar ao longo de uma mesma rodovia, portanto, recomenda-se segregar a rodovia em estudo em trechos homogêneos para identificar as classes distintas.

O HCM modela as condições básicas através de curvas que relacionam a velocidade média de viagem - ATS (*Average Travel Speed*) e a porcentagem de tempo trafegando em pelotão - PTSF (*Percent Time-Spent-Following*) com a taxa de fluxo na direção da análise.

As condições básicas para rodovias de pista simples são as seguintes:

- Largura da faixa ≥ 12 ft ($\approx 3,66$ m);
- Largura do acostamento ≥ 6 ft ($\approx 1,83$ m);
- Ausência de proibição de ultrapassagem;
- Somente carros de passeio;
- Terreno em nível (relevo plano);
- Sem impedimentos no fluxo de tráfego.

Segundo o HCM 2010, a capacidade para rodovias de pista simples nas condições básicas é:

- 1.700 veíc./h por direção;
- Não excede 3200 veíc./h em ambas as direções em trechos longos;
- Não excede de 3.200 a 3.400 veíc./h em ambas as direções em trechos curtos (túneis ou pontes).

A tabela a seguir apresenta descrições para a qualidade do fluxo do tráfego nos diferentes níveis de serviço para as três classes de rodovias de pista simples.

Tabela 11: Descrições de qualidade do fluxo do tráfego nos diferentes níveis de serviço para as 3 classes de rodovias de pista simples

LOS	Classe I	Classe II	Classe III
A	Alta velocidade, facilidade para ultrapassagens, raros pelotões de 3 carros ou mais.	Velocidade limitada pela via, pequena formação de pelotões.	Possibilidade de manter velocidades próximas à de fluxo livre.
B	Formação de pelotões se torna visível, redução de velocidade na classe I.		Começa a ser percebida uma redução da velocidade em relação à velocidade de fluxo livre.
C	A maioria dos veículos trafega em pelotões, velocidades reduzidas.		
D	Significante aumento da formação de pelotões. Aumento da demanda para ultrapassagens mas a capacidade para isso se aproxima de zero.		Significante queda da velocidade.
E	A demanda se aproxima da capacidade, o limite inferior do NS representa a capacidade.		
	Ultrapassagens praticamente impossíveis, <i>PTSF</i> maior que 80%, velocidades muito reduzidas.		A velocidade é menor que 2/3 da <i>FFS</i> .
F	A demanda excede a capacidade, condições de operação instáveis, grandes congestionamentos.		

Os parâmetros utilizados para avaliar o Nível de Serviço de uma rodovia de duas faixas (pista simples) são:

Tabela 12: Parâmetros para avaliação do Nível de Serviço

ATS	<p>Average Travel Speed: Velocidade Média de Viagem</p> <p>Mede a mobilidade em uma rodovia de duas faixas. Definido como a extensão do segmento dividido pelo tempo médio necessário para os veículos atravessá-lo.</p>
PTSF	<p>Percent Time-Spent-Following: Percentual do Tempo Gasto Seguindo</p> <p>Representa a liberdade de manobra e o conforto e conveniência da viagem. É a porcentagem média de tempo que os veículos devem viajar em pelotões, atrás de veículos mais lentos, devido a inabilidade de ultrapassá-los. Pela dificuldade de se medir em campo, uma medida alternativa é a porcentagem de veículos viajando com intervalos menores de 3,0s em um local representativo dentro do segmento rodoviário.</p>
PFFS	<p>Percent of Free-Flow Speed: Percentual da Velocidade de Fluxo Livre</p> <p>Representa a habilidade dos veículos viajarem próximos ou na velocidade regulamentada.</p>

Conforme a função de cada classe de rodovia de pista simples, diferentes aspectos são tomados como importantes para o seu nível de serviço. A Tabela a seguir resume a aplicação das três medidas para a determinação dos níveis de serviço para as diferentes classes.

Tabela 13: Parâmetros utilizados para a determinação do nível de serviço para as diferentes classes de rodovias de pista simples

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

A tabela a seguir extraída do HCM apresenta a determinação do nível de serviço a partir dos valores calculados.

Tabela 14: Limites para determinação do Nível de Serviço em rodovias de pista simples

LOS	Class I Highways		Class II Highways	Class III Highways
	ATS (mi/h)	PTSF (%)	PTSF (%)	PFFS (%)
A	>55	≤35	≤40	>91.7
B	>50-55	>35-50	>40-55	>83.3-91.7
C	>45-50	>50-65	>55-70	>75.0-83.3
D	>40-45	>65-80	>70-85	>66.7-75.0
E	≤40	>80	>85	≤66.7

4.6.2 Cálculo dos Níveis de Serviço por patamares

Os resultados de Nível de Serviço (NS) foram calculados por intermédio de patamares HCM. O qual é baseado nas características geométricas dos trechos e da composição do tráfego médio diário anual de cada segmento. São definidos os valores de volume hora pico (VHP) limítrofes de cada patamar de NS explanados acima e a partir destes valores se obtém o respectivo NS de cada trecho.

Lembrando que para o cálculo de nível de serviço foram utilizadas as taxas de crescimento de 2,5% a.a. para leves e 2,75% a.a. para pesados.

4.7 DIMENSIONAMENTO DAS CABINES DAS PRAÇAS

4.7.1 Método

O desempenho operacional de praças de pedágio depende de sua capacidade de atendimento, a qual está diretamente relacionada com os tempos de atendimento dos veículos nas cabines. Sob o ponto de vista da engenharia de tráfego, a cobrança de pedágio geralmente atua como um gargalo no fluxo das rodovias, uma vez que a capacidade das praças costuma ser significativamente menor do que a capacidade das rodovias onde essas praças estão inseridas. Os veículos são obrigados a parar ou a reduzir suas velocidades para o pagamento da tarifa, tendendo a reduzir de forma significativa a capacidade viária nos trechos em que existem praças de pedágio, com a possível formação de congestionamentos em períodos de pico.

Entretanto, dependendo do número de cabines, da alocação dos tipos de cobrança nas cabines e da adesão dos veículos à cobrança eletrônica (ETC – *electronic toll collection*), a praça de pedágio pode vir a ter uma capacidade igual ou até mesmo maior do que a capacidade da rodovia na qual está inserida (AYCIN, 2006).

Para análise do número de faixas de cobrança necessárias nas praças de pedágio, a fim de se obter um pré-dimensionamento, utilizou-se de cálculos dos fundamentos da teoria de filas.

Para avaliação do Nível de Serviço das praças de pedágio do presente estudo, foi utilizada a metodologia de Faria (2008), que propõe uma escala de nível de serviço que se baseia nos estudos desenvolvido por Araújo (2001) e Klodzinski & Al-Deek (2001). Para a elaboração da escala, Araújo (2001) procurou definir o limite superior de sua escala de nível de serviço, referente ao nível de serviço E, ou seja, a capacidade da praça. No entanto, como existe uma grande diferença entre o nível E e o nível D quando se analisa o tempo no sistema (de 120 para 650 segundos) e o número médio de veículos na fila (de 4 para 30 veículos), o autor considerou conveniente criar uma nova escala para medir o desempenho da praça.

Assim, a escala tem como base o limite superior do nível de serviço A proposto por Araújo (2001). Os demais valores da escala serão definidos de acordo com o critério de Klodzinski & Al-Deek (2001). Esse critério corresponde ao aumento percentual utilizado pelo Highway Capacity Manual (2000) na escala de nível de serviço para interseções semaforizadas. Na referida escala, os aumentos são de 100,0% de A para B; 75,0% de B para C; 57,14% de C para D e de 45,45% de D para E.

Desta forma, associando-se as propostas de Araújo (2001) e Klodzinski & Al-Deek (2001), foi definida a escala de nível de serviço para tempo no sistema. Para a fila média, foi feita uma relação entre os valores de tempo no sistema e a fila média da escala proposta por Araújo (2001) e após o ajuste de uma curva do tipo $y = a \times x^b$, foram calculados os valores da escala de nível de serviço para a fila média, conforme apresenta a Tabela 15.

Tabela 15: Escala proposta de nível de serviço de Faria (2008)

Nível de serviço	Tempo no sistema (s)	Fila média (veic)
A	≤ 40	≤ 1
B	≤ 80	≤ 2,5
C	≤ 140	≤ 5
D	≤ 220	≤ 8,5
E	≤ 320	≤ 13
F	> 320	> 13

Fonte: Faria (2008)

4.8 ESTIMATIVA DE NÚMERO N

4.8.1 Introdução

O cálculo de Número N é importante indicador da solicitação que sofre um pavimento pelos veículos que passam pela via estudada, ao traduzir as diferentes solicitações causadas pelos diversos modelos de ônibus e caminhões em um valor padrão.

A importância do cálculo correto do Número N reside no equilíbrio técnico-econômico dos projetos de pavimentação, do qual é fundamento, já que é ele quem determina, por diferentes metodologias e em conjunto com o solo natural, as espessuras das diversas camadas que compõem o pavimento.

Via de regra o número N é calculado para segmentos homogêneos, isso pode reduzir custos de investimentos dado que podem existir valores de N diferentes para cada segmento.

4.8.2 Contagem Classificada de Veículos (CCV)

Conforme evidenciado no item de Pesquisas de Tráfego, realizou-se a contagem classificada de veículos com classificação padrão DNIT (por eixos) com correção sazonal.

4.8.3 Metodologia empregada

Para apresentação do número N calculado para a rodovia, resume-se os principais parâmetros obtidos, a saber:

- Volume Médio Diário anual (VDM) e classificação da frota;
- Carregamento da frota;
- Fator de equivalência de carga;
- Número equivalente “N”.

O VDM da rodovia foi obtido por meio das contagens de tráfego realizadas, aplicando-se os devidos fatores de correção sazonal e expansão anual, conforme já demonstrado.

A frota de veículos de carga, nas contagens de tráfego foi classificada conforme as categorias já apresentadas anteriormente e rerepresentadas na figura seguinte.

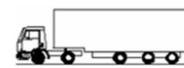
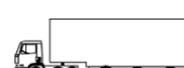
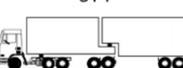
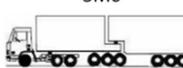
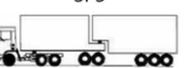
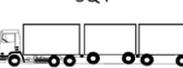
2CB 	3CB 	4CB 	2C 	3C 	4CD 
2S2 	2S3 	3S2 	3S3 	2I2 	2I3 
3I2 	3I3 	2I3 	3I3 	3D4 	3D6 
3T4 	3T6 	3M6 	3P5 	3Q4 	3V5 

Figura 26: Classificação dos veículos de carga

O esforço a ser infligido ao pavimento é calculado por meio de metodologia que transforma a passagem de veículos em esforço equivalente a um eixo padrão de 8,2 t. A conversão das diferentes configurações de veículos, eixos, peso por eixo é realizada por meio de fatores de equivalência obtidos por reconhecidos institutos que atuam na pesquisa rodoviária, sendo os mais indicados e utilizados no Brasil os fatores do

Corpo de Engenheiros do Exército Norte-Americano (USACE) e os da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), ambos institutos norte-americanos.

A comparação entre os valores obtidos pelas duas metodologias é interessante, sendo usual que os resultados obtidos pelos fatores de equivalência da USACE sejam maiores, ou seja, a favor da segurança. É justamente essa metodologia a indicada no Método de Projeto do DNIT.

Segundo Brasil (2006), os “fatores de equivalência da AASHTO baseiam-se na perda de serventia (PSI) e variam com o tipo do pavimento (flexível e rígido), índice de serventia terminal e resistência do pavimento (número estrutural – SN). Eles são diferentes dos obtidos pelo USACE, que avaliaram os efeitos do carregamento na deformação permanente (afundamento nas trilhas de roda)”; pelo que se concluiu que a utilização de um ou outro índice será determinado pela metodologia de cálculo do pavimento.

O fator de equivalência de carga foi determinado por meio das duas metodologias disponíveis, USACE e AASHTO, e dependem do tipo de eixo do veículo.

Os tipos de eixo são classificados da seguinte forma:

- Simples de rodagem simples;
- Simples de rodagem dupla;
- Tandem duplo (rodagem dupla);
- Tandem triplo (rodagem dupla).

Os fatores de equivalência são apresentados nas tabelas a seguir, considerando P o peso bruto total por eixo em toneladas (obtido pela distribuição dos pesos totais pelos eixos do veículo).

Tabela 16: Fatores de equivalência de carga da AASHTO

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
Simples de rodagem simples	$FC = (P / 7,77)^{4,32}$
Simples de rodagem dupla	$FC = (P / 8,17)^{4,32}$
Tandem duplo	$FC = (P / 15,08)^{4,14}$
Tandem triplo	$FC = (P / 22,95)^{4,22}$

Fonte: BRASIL, 2006

Tabela 17: Fatores de equivalência de carga da USACE

Tipos de eixo	Faixas de carga (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro e traseiro	0 – 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

Fonte: BRASIL, 2006

Apesar da diferença entre os fatores de equivalência, a metodologia empregada é uma só, sendo diversas apenas as equações que resultam nos fatores de equivalência e, portanto, no resultado final.

Considerando que há uma diferença entre o cálculo do número N para pavimentos rígidos e flexíveis, empregou-se a metodologia para pavimentos flexíveis, que é o tipo de pavimentação a ser adotada.

O número N é determinado pela seguinte fórmula geral:

$$N = \sum_{a=1}^p N_a$$

Onde:

N = número equivalente de aplicações do eixo padrão durante o período de projeto;

a = ano do período de projeto;

p = número de anos do período de projeto;

N_a = número equivalente de aplicações do eixo padrão durante o ano "a".

Em que:

$$N_a = \sum_{i=1}^k V_{ia} \cdot FV_i \cdot 365 \cdot c \cdot FR$$

Onde:

i = categoria do veículo, variando de 1 a k;

V_{ia} = volume de veículos da categoria i, durante o ano 'a' do período de projeto;

c = percentual de veículos comerciais na faixa de projeto;

FV_i = fator de veículo da categoria i ;

FR = fator climático regional.

Em que:

$$FV_i = \sum_{j=1}^m FC_j$$

Onde:

j = tipo de eixo, variando de 1 a m ;

m = número de eixos do veículo i ;

FC_j = fator de equivalência de carga correspondente ao eixo j do veículo i .

Como o projeto de pavimentação deve ser pensado para a faixa mais solicitada, a Tabela 18 apresenta importante indicação do percentual de veículos pesados que solicitam a faixa de projeto (c) em diversas situações e deve ser aplicado para obtenção do número N de projeto.

Tabela 18: Percentuais de veículos comerciais na faixa de projeto

Número de Faixas de Tráfego na rodovia	Percentual de veículos comerciais na faixa de projeto (c)	
2 (pista simples)	50%	
4 (pista dupla)	35% a 48%	
6 ou mais (pista dupla)	25% a 48%	

Fonte: BRASIL, 2006

5 VOLUMES DE TRÁFEGO ATUAL

A seguir são apresentados os resultados das contagens realizadas nos principais postos de contagem. Antes é importante citar que os valores estão apresentados em total absoluto de veículos seguido de uma porcentagem, a qual representa a parcela de veículos pesados (comerciais leves e comerciais pesados) sobre o valor total, por exemplo: “1400” e “51%” significa que 51% de 1400 (volume contabilizado) corresponde aos veículos comerciais, ou seja, 714. Não foram consideradas as quantidade de motos e ajustes sazonais nas figuras apresentadas.

5.1 CONTAGENS REALIZADAS EM AGOSTO DE 2022

5.1.1 Ponto 1 – Entre Marabá e Jacundá

A Figura 27 apresenta os volumes contabilizados na contagem do Ponto 1. Percebe-se um VMD de 1.400 veículos para Norte e 1.459 para sul, sendo que 51% destes correspondem a pesados.



Figura 27: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 1

5.1.2 Ponto 2 – Entre Jacundá e Goianésia do Pará

A Figura 28 apresenta os volumes contabilizados na contagem do Ponto 2. Percebe-se um VMD de aproximadamente 1.400 veículos para ambos os sentidos, sendo que 49% destes correspondem a pesados.



Figura 28: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 2

5.1.3 Ponto 3 – Entre Goianésia do Pará e Região dos Campos

A Figura 29 apresenta os volumes contabilizados na contagem do Ponto 3. Nota-se um VMD superior aos dois pontos anteriores, no patamar de aproximadamente 1.700 veículos, sendo 49% pesados.

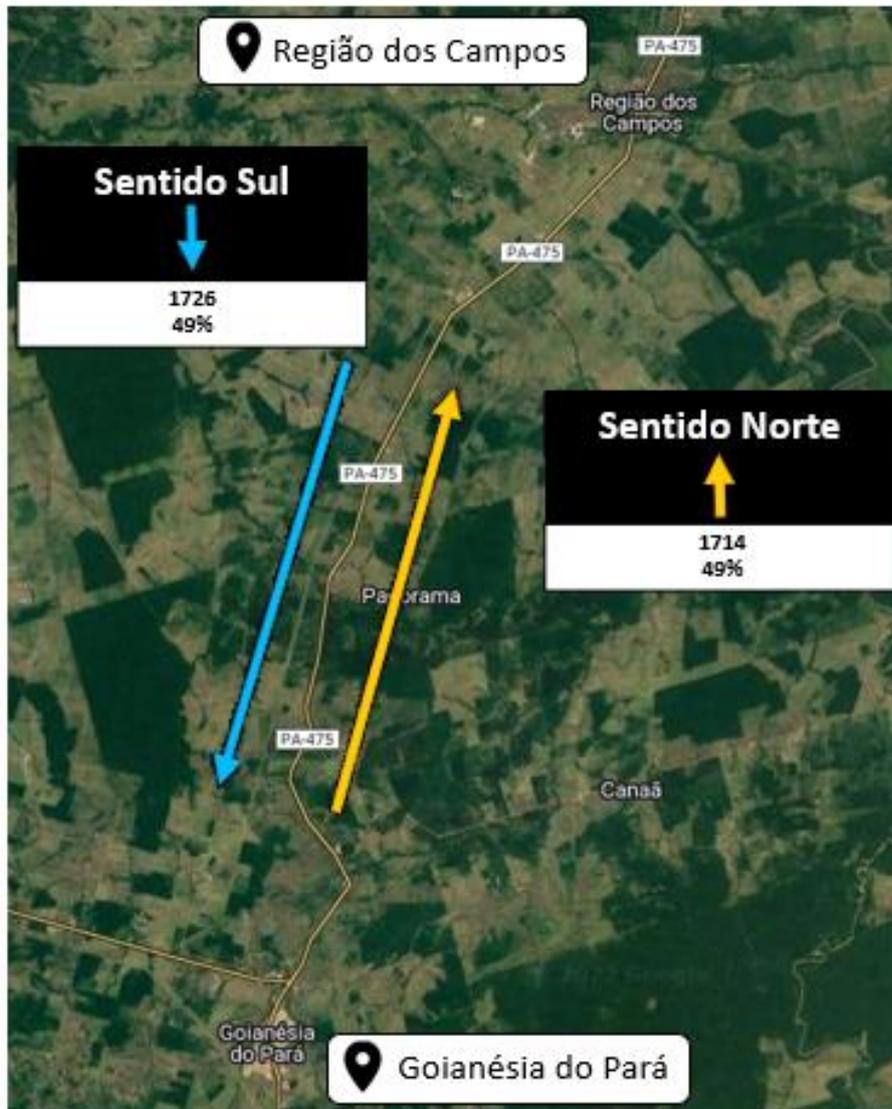


Figura 29: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 3

5.1.4 Ponto 4 – Entre Região dos Campos e Tailândia

A Figura 30 apresenta os volumes contabilizados na contagem do Ponto 4. Similar ao ponto anterior, o VMD ficou acima de 1.700 veículos, sendo destes 49% do tipo pesados.

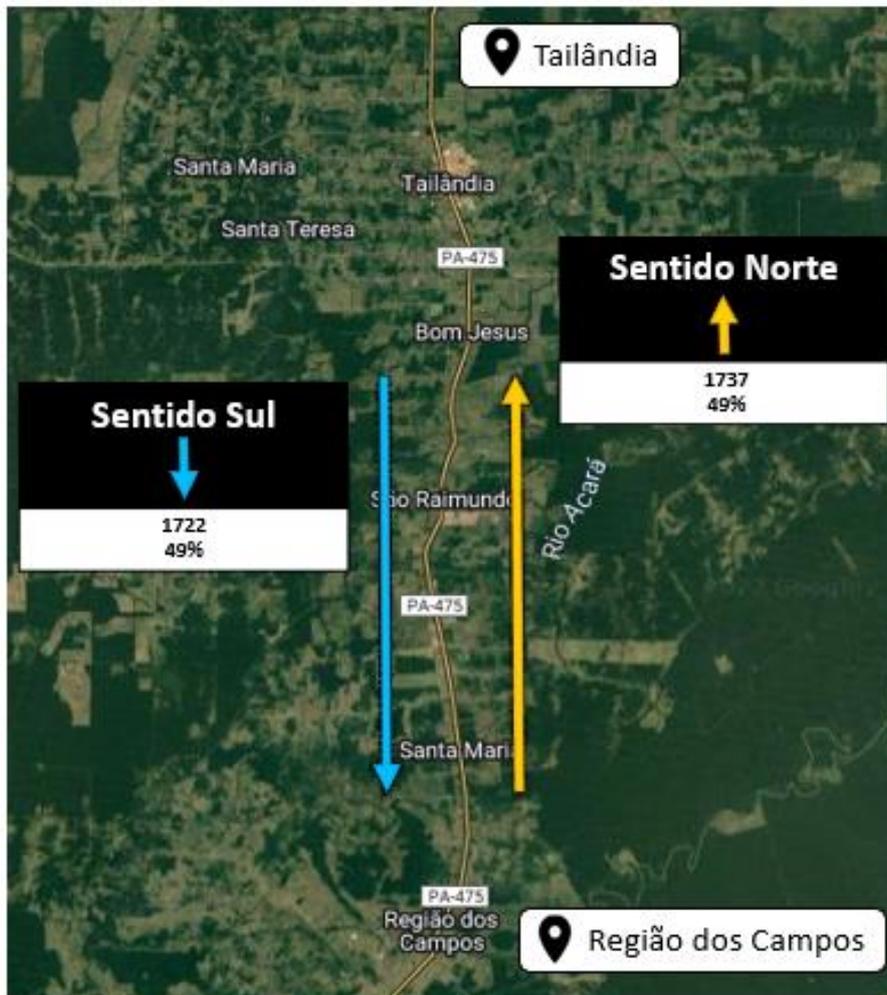


Figura 30: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 4

5.1.5 Ponto 5 – Entre Tailândia e Moju

A Figura 31 apresenta os volumes contabilizados na contagem do Ponto 5. Localizado entre Tailândia e Moju, o VMD ficou próximo a 1.500 veículos, sendo destes 60% pesados, acima dos outros pontos já mencionados.

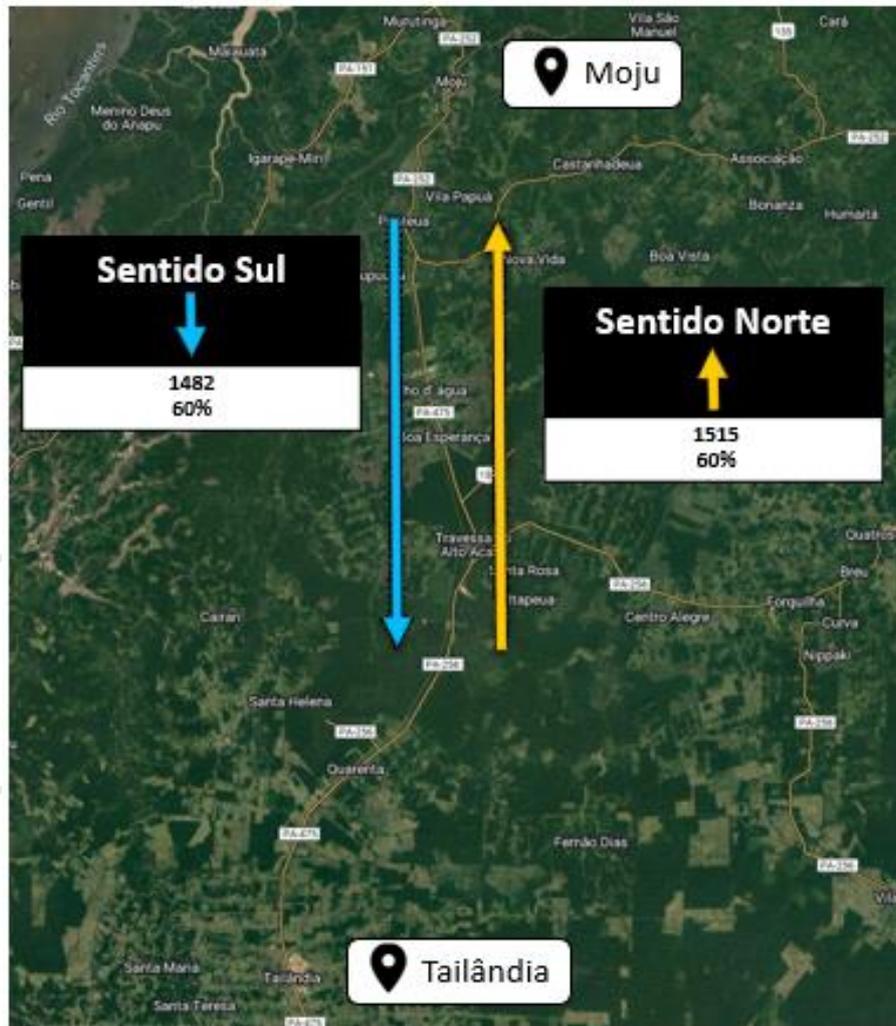


Figura 31: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 5

5.1.6 Ponto 6 – Entre Moju e Abaetetuba

A Figura 32 apresenta os volumes contabilizados na contagem do Ponto 6. Localizado entre Moju e Abaetetuba, o ponto possui VMD próximo a 2.500 veículos, sendo destes 35% pesados, um valor abaixo dos pontos anteriores.

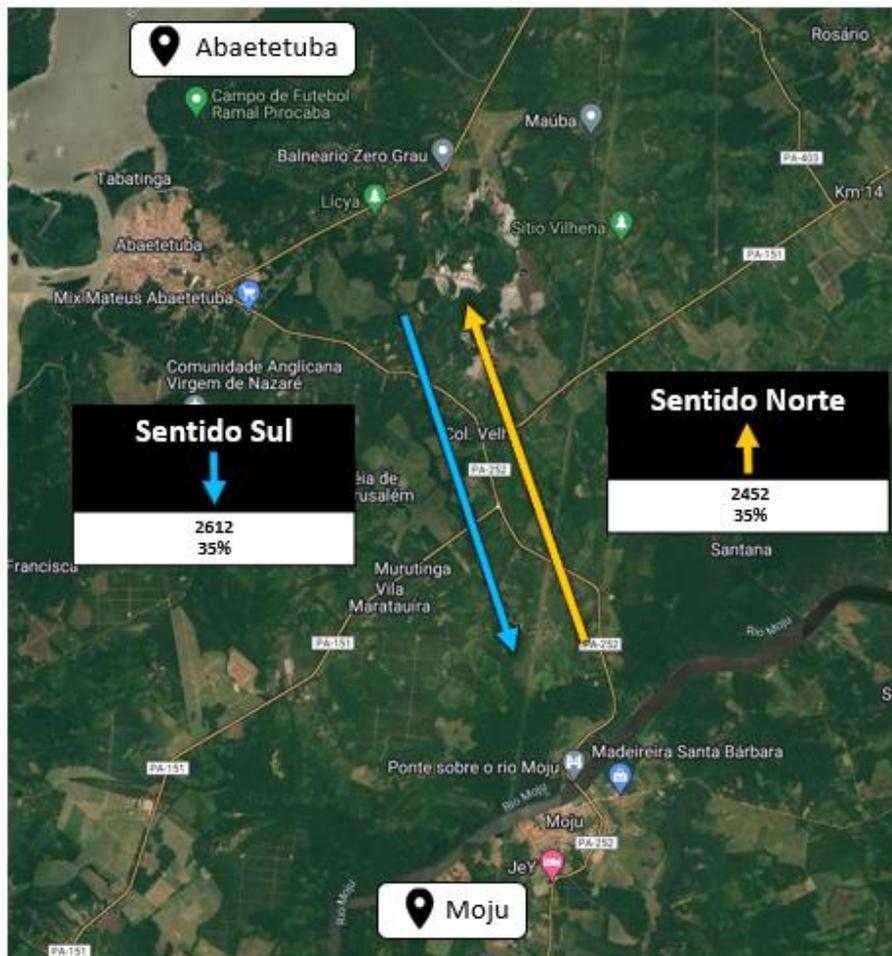


Figura 32: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 6

5.1.7 Ponto 7 – Alça Viária

A Figura 33 apresenta os volumes contabilizados na contagem do Ponto 7. Localizado na Alça Viária de Belém, o ponto possui um VMD de quase 3.000 veículos, com 30% de pesados.



Figura 33: Volume de tráfego contabilizado no Ponto 7

6 MODELO DE CRESCIMENTO DE TRÁFEGO

6.1 Introdução

Prever como o tráfego varia ao longo dos anos tem sido uma das tarefas mais complexas em estudos de projeção, sobretudo em tempos de crise e incertezas comerciais/econômicas. Por esse motivo e devido à complexidade peculiar no que tange a projeção de tráfego das rodovias em questão, buscam-se diversas fontes para encontrar os resultados mais aderentes ao estado do Pará, o que será explicado mais adiante.

Porém, antes é importante destacar que os estudos de tráfego para previsão dos volumes de veículos futuro utilizam uma projeção geométrica ou exponencial dada pela equação seguinte.

$$V_f = V_a \times (1 + t)^n \quad (6.1)$$

Onde:

V_f = Volume futuro no ano n

V_a = Volume atual

t = taxa de crescimento

n = número de anos decorridos em relação ao volume atual

Conforme o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (DNIT, 2006) o tráfego cresce a taxas relativamente lentas, sendo recomendado pelo órgão, uma taxa de crescimento anual de 3%, próxima da taxa de crescimento econômico do país como um todo, o que resulta em uma função exponencial.

A aplicação da taxa de crescimento anual de 3% é recomendada nas situações em que não se é possível a obtenção de modelos de previsão do tráfego em função de variáveis socioeconômicas.

Sempre que possível, os modelos de crescimento do tráfego podem utilizar, por meio da técnica de regressões, para previsão de uma situação futura, variáveis explicativas como: Produto Interno Bruto (PIB), população, emprego, renda, frota de veículos, entre outras, em que a taxa de variação do tráfego é obtida pela taxa de variação da variável explicativa.

Porém o tráfego apresenta características peculiares que variam de região para região em que uma série de fatores podem provocar a sua alteração, que vão desde a melhoria no pavimento, aberturas de empresas

ao longo do trecho ou influências econômicas locais que não são representadas estatisticamente e que tornam a obtenção de modelos de crescimento pouco confiáveis e de difícil obtenção.

De modo geral, admite-se o Produto Interno Bruto (PIB) nacional como sendo a variável de maior influência sobre o tráfego, uma vez que a matriz modal do Brasil se concentra no transporte rodoviário e a utilização do automóvel particular para atividades de trabalho, estudo e lazer ainda é preponderante em relação aos outros modos.

Um outro fator para se adotar o PIB como variável explicativa é o fato de se ter uma longa série histórica do dado e ainda ser possível obter alguma previsão para anos futuros.

Como indicador da variação do tráfego, foram utilizados os dados do índice ABCR (Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias) a nível Brasil.

Tal indicador foi adotado por se ter um histórico de 22 anos (1999 a 2020) e entre os testes realizados com outras variáveis apresentadas a seguir foi a única que apresentou um coeficiente de elasticidade coerente e coeficiente de correlação significativo.

Dessa forma então, o modelo que será demonstrado a seguir possui como variável dependente a variação do tráfego nacional obtida por meio dos índices ABCR de 1.999 a 2020 e, como variável independente (explicativa), a variação do PIB Nacional de 1999 a 2020.

6.2 Obtenção da Elasticidade (η) de Crescimento

Para melhor projeção do crescimento do tráfego ao longo do tempo, é prática comum a análise da elasticidade do tráfego em função de variáveis macroeconômicas de uma região ou país. A análise consiste em se determinar, através de séries históricas de dados disponíveis, a variação do tráfego de veículos em função da variação destas variáveis. No caso do Brasil, devido à escassez de dados e de séries históricas suficientemente longas que permitam a validação das análises a serem realizadas, o PIB Nacional costuma ser a variável independente utilizada na determinação da taxa de crescimento de tráfego.

Uma vez definida a variável do modelo de projeção de crescimento do tráfego, a determinação da Elasticidade (η) foi obtida por meio da técnica de linearização da função de Produção Cobb-Douglas expressa por:

$$\ln(Y) = \ln(\alpha) + \beta \ln(x) \quad (6.2)$$

Onde:

Y = Demanda, nesse caso a variação do tráfego.

X = Variável que explica a demanda, nesse caso a variação do PIB Nacional;

α = representa uma constante;

β = É o parâmetro que, calibrado, representa a elasticidade (η).

A elasticidade é representada por β uma vez que se aplicando uma variação em ambos os lados da equação tem-se que:

$$\beta = \frac{\Delta \ln(Y)}{\Delta \ln(X)} = \eta \quad (6.3)$$

Como é necessário trabalhar com logaritmo Neperiano, não é possível obter resultados para valores menores que zero. Logo, como existem taxas de variação negativa, a solução adotada é a normalização dos dados, ou seja, fixa-se a primeira entrada com valor unitário e os demais valores são calculados de forma a representarem uma proporção do valor inicial, conforme equação seguinte.

$$\text{Índice}_{\text{Ano } n} = \text{Índice}_{\text{Ano } n-1} \times (1 + \text{taxa de variação})$$

Por fim, a taxa de variação do tráfego é dada pela multiplicação da taxa de variação percentual do PIB pela elasticidade. A tabela seguinte apresenta as taxas de variações, os índices e o Logaritmo Neperiano calculado para o PIB Nacional e ABCR.

Tabela 19: Dados para cálculo de elasticidade

Ano	ABCR LEVES		ABCR PESADOS		PIB NACIONAL		Logaritmo Neperiano		
	Índice ABCR Leves	Taxa de Var Leves	Índice ABCR Pesados	Taxa de Var Pesados	Índice PIB	Taxa de Var. PIB	Ln ABCR Leves	Ln ABCR Pesados	Ln PIB
1999	1,00		1,00		1,00		0,00	0,00	0,00
2000	0,98	-2,39%	1,02	1,60%	1,04	4,39%	-0,02	0,02	0,04

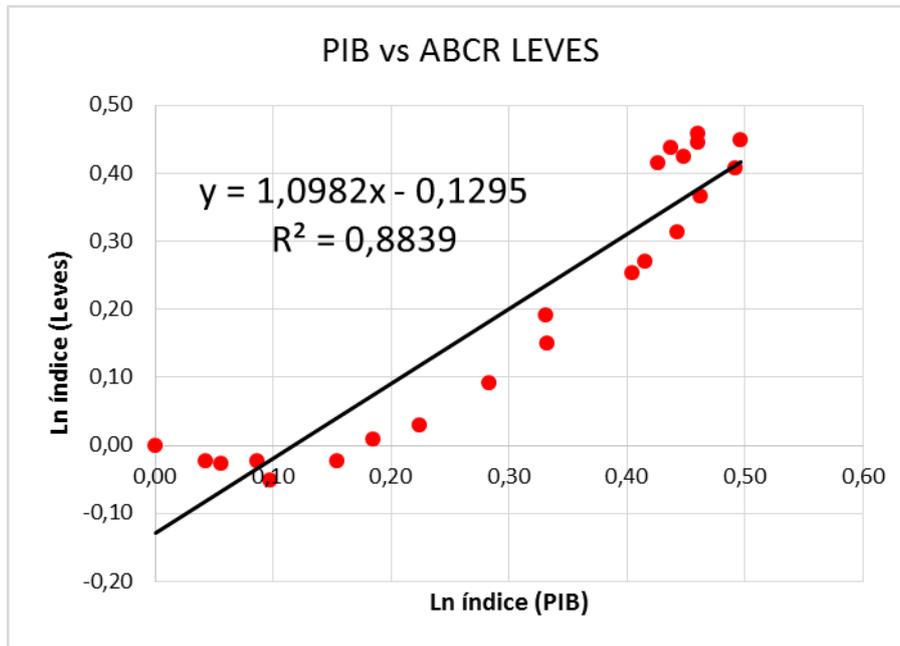
Ano	ABCR LEVES		ABCR PESADOS		PIB NACIONAL		Logaritmo Neperiano		
	Índice ABCR Leves	Taxa de Var Leves	Índice ABCR Pesados	Taxa de Var Pesados	Índice PIB	Taxa de Var. PIB	Ln ABCR Leves	Ln ABCR Pesados	Ln PIB
2001	0,97	-0,29%	1,07	5,28%	1,06	1,39%	-0,03	0,07	0,06
2002	0,98	0,39%	1,13	5,47%	1,09	3,05%	-0,02	0,12	0,09
2003	0,95	-2,77%	1,13	0,54%	1,10	1,14%	-0,05	0,13	0,10
2004	0,98	2,78%	1,21	6,30%	1,17	5,76%	-0,02	0,19	0,15
2005	1,01	3,24%	1,22	1,11%	1,20	3,20%	0,01	0,20	0,19
2006	1,03	2,20%	1,23	1,09%	1,25	3,96%	0,03	0,21	0,22
2007	1,10	6,30%	1,30	5,13%	1,33	6,07%	0,09	0,26	0,28
2008	1,16	6,13%	1,36	4,87%	1,40	5,09%	0,15	0,31	0,33
2009	1,21	4,19%	1,32	-2,66%	1,39	-0,13%	0,19	0,28	0,33
2010	1,29	6,30%	1,48	11,66%	1,50	7,53%	0,25	0,39	0,40
2011	1,37	6,30%	1,57	6,14%	1,56	3,97%	0,31	0,45	0,44
2012	1,44	5,34%	1,60	2,38%	1,59	1,92%	0,37	0,47	0,46
2013	1,50	4,25%	1,66	3,18%	1,64	3,00%	0,41	0,50	0,49
2014	1,57	4,19%	1,61	-2,63%	1,64	0,50%	0,45	0,48	0,50
2015	1,56	-0,40%	1,51	-6,17%	1,59	-3,55%	0,44	0,41	0,46
2016	1,51	-2,91%	1,42	-6,10%	1,53	-3,31%	0,41	0,35	0,43
2017	1,55	2,30%	1,44	1,14%	1,55	1,06%	0,44	0,36	0,44
2018	1,53	-1,31%	1,45	1,10%	1,57	1,12%	0,42	0,37	0,45
2019	1,58	3,45%	1,51	4,10%	1,58	1,14%	0,46	0,41	0,46
2020	1,31	-17,09%	1,49	-1,42%	1,52	-4,30%	0,27	0,40	0,42

Fonte: Elaboração Imtraff

A partir desses dados, foram obtidas as elasticidades para leves e pesados por meio do procedimento de regressão linear.

A figura seguinte apresenta o gráfico de dispersão de pontos da regressão linear para cálculo da elasticidade dos veículos leves. O valor obtido foi de $\eta = 1,0982$, com R^2 de 0,8839 que confere um bom ajuste ao modelo.

Figura 34: Dispersão dos pontos da regressão linear da elasticidade para veículos leves



Fonte: Elaboração Imtraff

A equação calibrada foi submetida aos demais testes estatísticos e se demonstrou válida. O R múltiplo calculado é válido com uma correlação de 0,94 e o R-Quadrado com uma correlação de 0,88, acima de 0,7 (limite usual para variáveis de fenômenos de transportes).

Os testes F, Alfa e Teste T apresentaram valores que confirmam a significância dos coeficientes da equação, uma vez que estão dentro da região crítica de rejeição da hipótese nula. Em outras palavras, há indícios para aceitar a hipótese alternativa dos coeficientes serem significativos com 95% de confiança.

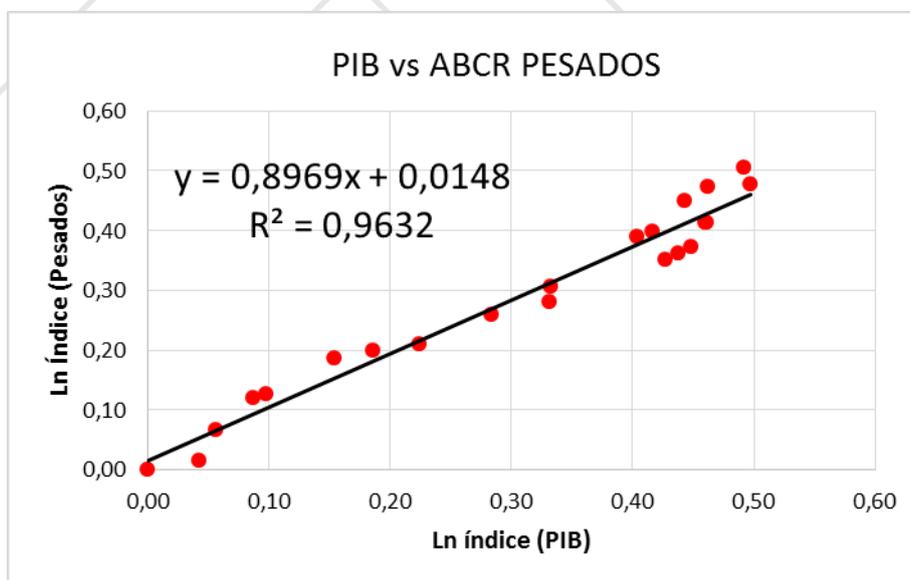
Tabela 20: Análise estatística da elasticidade para veículos leves

RESUMO DOS RESULTADOS											
<i>Estatística de regressão</i>		<i>Validação</i>									
R múltiplo	0,94	OK									
R-Quadrado	0,88	OK									
R-quadrado ajustado	0,88	OK									
Erro padrão	0,07	OK									
Observações	22										
ANOVA											
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F tabelado (0,95;1;20)</i>	<i>Teste F</i>	<i>F de significação</i>	<i>Alfa</i>	<i>Teste Alfa</i>		
Regressão	1	0,72	0,72	152,26	4,35	OK	8,29E-11	0,05	OK		
Resíduo	20	0,09	0,00								
Total	21	0,82									
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>T tabelado (crítico) (0,975;20)</i>	<i>Teste T</i>	<i>valor-P</i>	<i>Alfa</i>	<i>Teste Alfa</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>IC 95%</i>
Interseção	-0,1295	0,03	-4,18	2,086	OK	4,61E-04	0,05	OK	-0,19	-0,06	OK
Ln PIB	1,0982	0,09	12,34	2,086	OK	8,29E-11	0,05	OK	0,91	1,28	OK

Fonte: Elaboração Imtraff

Para os veículos pesados, a elasticidade calculada foi de $\eta = 0,8969$ com um $R^2 = 0,9632$, que demonstra uma boa relação entre as variáveis.

Figura 35: Dispersão dos pontos da regressão linear da elasticidade para pesados



Fonte: Elaboração Imtraff

A equação calibrada foi submetida aos demais testes estatísticos e o intercepto γ não apresentou contribuição ao modelo, conforme pode-se verificar adiante.

Tabela 21: Análise estatística da elasticidade para pesados

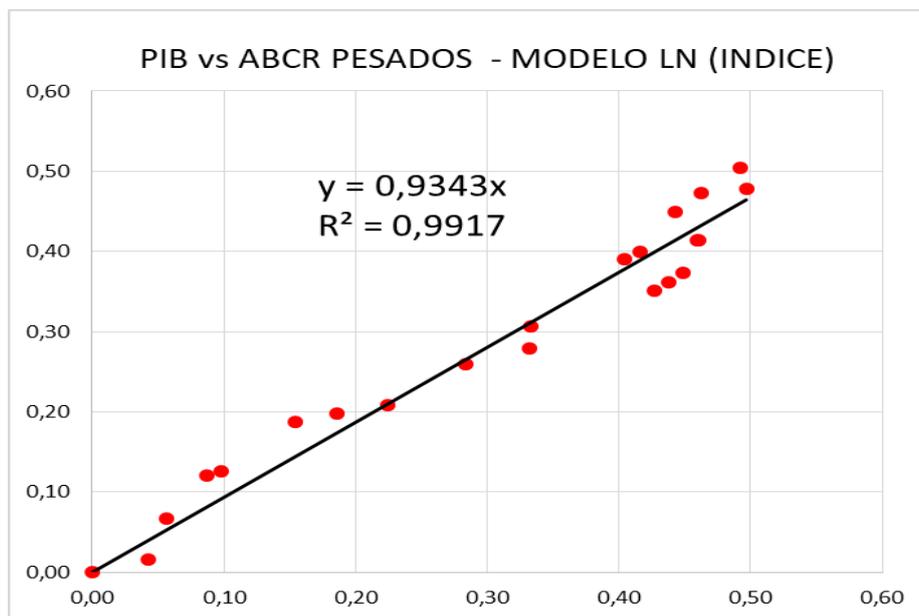
RESUMO DOS RESULTADOS											
<i>Estatística de regressão</i>		Validação									
R múltiplo	0,98	OK									
R-Quadrado	0,96	OK									
R-quadrado ajustado	0,96	OK									
Erro padrão	0,03	OK									
Observações	22										
ANOVA											
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F tabelado (0,95;1;20)</i>	<i>Teste F</i>	<i>F de significação</i>	<i>Alfa</i>	<i>Teste Alfa</i>		
Regressão	1	0,48	0,48	523,97	4,35	OK	8,09E-16	0,05	OK		
Resíduo	20	0,02	0,00								
Total	21	0,50									
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>T tabelado (crítico) (0,975;20)</i>	<i>Teste T</i>	<i>valor-P</i>	<i>Alfa</i>	<i>Teste Alfa</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>IC 95%</i>
Interseção	0,0148	0,01	1,09	2,086	Reprovado	2,91E-01	0,05	OK	-0,01	0,04	OK
Ln PIB	0,8969	0,04	22,89	2,086	OK	8,09E-16	0,05	OK	0,82	0,98	OK

Fonte: Elaboração Imtraff

Logo, um novo modelo foi gerado retirando da análise a interseção y e fixando-a como zero.

Para o novo modelo obteve-se um $\eta = 0,9343$ com um $R^2 = 0,99$ que demonstra uma boa relação entre as variáveis.

Figura 36: Dispersão dos pontos da regressão linear da elasticidade para pesados



O novo modelo foi submetido aos demais testes estatísticos nos quais todos os itens avaliados foram aceitos.

Tabela 22: Análise estatística da elasticidade para pesados

RESUMO DOS RESULTADOS											
<i>Estatística de regressão</i>		Validação									
R múltiplo	1,00	OK									
R-Quadrado	0,99	OK									
R-quadrado ajustado	0,94	OK									
Erro padrão	0,03	OK									
Observações	22										
ANOVA											
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F tabelado (0,95;1;21)</i>	<i>Teste F</i>	<i>F de significação</i>	<i>Alfa</i>	<i>Teste Alfa</i>		
Regressão	1	2,33	2,33	2513,31	4,32	OK	1,66E-22	0,05	OK		
Resíduo	21	0,02	0,00								
Total	22	2,35									
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>T tabelado (crítico) (0,975;21)</i>	<i>Teste T</i>	<i>valor-P</i>	<i>Alfa</i>	<i>Teste Alfa</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>IC 95%</i>
Ln PIB	0,9343	0,02	50,13	2,080	OK	2,40E-23	0,05	OK	0,90	0,97	OK

Por fim, resumem-se as elasticidades calculadas:

Tabela 23: Resumo das Elasticidades

Elasticidade Leves	Elasticidade Pesados
1,0982	0,9343

Fonte: Elaboração Imtraff

6.3 Projeção de Taxas de Crescimento Para o Horizonte de Concessão

Para os anos futuros de concessão as elasticidades irão sofrer atenuações, de modo que ao passar dos anos as taxas sofrem ligeiras reduções de crescimento.

A metodologia para atenuação das elasticidades consiste em analisar a sua interação com o PIB per capita. Conforme estudo “Better Traffic and Revenue Forecasting” de Willumsen, o PIB per capita pode ser utilizado como variável proxy do driver da variação da elasticidade, tanto para veículos comerciais quanto pesados. Segundo o estudo, observa-se uma queda de 0,03 do valor da elasticidade para cada variação de US\$ 1000 ao PIB per capita. Dessa forma, com base nas projeções do PIB Nacional (Bacen) e população (IBGE), foi gerada a curva de atenuação da elasticidade ao longo dos anos. O item a seguir apresenta a atenuação dos valores de elasticidade para o período de concessão da rodovia.

6.3.1 Conversão de PIB corrente para PIB constante segundo base de dados do Banco Mundial

Neste texto, está descrito como obter a variável PIB per capita em US\$ constantes para o ano de 2010 segundo método do Banco Mundial.

Segundo o Banco Mundial, a diferença entre uma variável constante e corrente é que aquela é igual a esta deduzida pela inflação. Por exemplo, se no ano₁ o PIB foi de 100 M de reais e no ano₂ o PIB foi de 110 M de reais, com inflação para o período de 4%, então o valor do PIB no ano₂, em valores constantes, seria de $110/(1+4\%)$, ou 106 M aproximadamente (exemplo disponível na página do Banco Mundial).

Para obter os valores em dólar constante para 2010, o Banco Mundial usa um método do deflator do PIB que preserva a taxa de crescimento nas séries em valores constantes de moeda local. No entanto pode-se assumir que esta variável é encontrada através do índice de preços ao consumidor tendo como referência o valor de 100 para o ano de 2010.

Exemplo: para um dado ano, tem-se o valor do PIB. Ao dividir esse valor de PIB pelo valor do IPCA acumulado desde o ano 2010 até o ano em questão, obtém-se o valor do PIB no ano em questão em valor constante para 2010. Para obter o valor em dólar constante do ano de 2010 (US\$ 2010), basta dividir pelo valor médio do dólar nesse ano, a saber R\$ 1,7592.

A obtenção deste IPCA constante para o ano de 2010 é simples: segundo o Banco Mundial, o valor para 2018 foi igual à 161,37. Para obter o valor de 2019, basta multiplicar este valor pelo IPCA de 2019 (pela variação do ano de 2019, o fechamento anual do IPCA). O exemplo abaixo detalha melhor o cálculo.

6.3.2 Cálculo do PIB per capita em US\$ 2010 com dados de 2019

A título de exemplo, abaixo está calculado o PIB per capita em US\$ 2010. A população brasileira em 2019 era estimada em 210.147.125 habitantes. O crescimento do PIB previsto segundo expectativa de mercado foi de de 2,53%. Logo no ano de 2019, o valor do PIB foi de R\$ 7.000.323.925.800. O PIB per capita foi de R\$33.311,53 (até aqui, tudo está em R\$ correntes).

O IPCA previsto segundo expectativa de mercado para 2019 foi de 4,11%. Logo o IPCA em valor constante para 2010 será de 168,0062779, que é o valor de 2018 multiplicado por 1,0411. Dividindo este valor por 100 e em seguida dividindo o PIB per capita pelo resultado obtido, tem-se:

$$PIB \text{ per capita em R\$ } 2010 = \frac{R\$33311,53}{1,68006} = 19827,55$$

Aplicando a taxa de câmbio de 2010, tem-se que o PIB per capita em US\$ 2010 será de US\$ 11270,78. Observa-se que através desse cálculo e com os dados obtidos obtém-se uma queda contínua do valor do PIB per capita em valores constantes para o período de concessão. A Tabela 24 apresenta os valores calculados do PIB per capita em US\$ 2010 e a respectiva variação na elasticidade para cada ano.

Tabela 24: Valores calculados do PIB per capita em US\$ 2010 e a variação na elasticidade entre 2021 e 2055

ANO	PIB/capita (US\$ 2010)	Var. Elasticidade	ANO	PIB/capita (US\$ 2010)	Var. Elasticidade
2021	10189,32	-0,00318	2038	8527,54	-0,00191
2022	10017,88	-0,00514	2039	8464,48	-0,00189
2023	9865,95	-0,00456	2040	8401,88	-0,00188
2024	9728,12	-0,00414	2041	8339,75	-0,00186
2025	9596,90	-0,00394	2042	8278,08	-0,00185
2026	9470,26	-0,00380	2043	8216,86	-0,00184
2027	9348,09	-0,00367	2044	8156,09	-0,00182
2028	9230,28	-0,00353	2045	8095,78	-0,00181
2029	9116,68	-0,00341	2046	8035,91	-0,00180
2030	9049,26	-0,00202	2047	7976,48	-0,00178
2031	8982,34	-0,00201	2048	7917,49	-0,00177
2032	8915,91	-0,00199	2049	7858,94	-0,00176
2033	8849,98	-0,00198	2050	7800,82	-0,00174
2034	8784,53	-0,00196	2051	7743,13	-0,00173
2035	8719,56	-0,00195	2052	7685,87	-0,00172
2036	8655,08	-0,00193	2053	7629,03	-0,00171
2037	8591,08	-0,00192	2054	7572,61	-0,00169
			2055	7516,61	-0,00168

6.3.3 Cenários de Projeção de Taxa de Crescimento do Tráfego

Através do cálculo de atenuação da elasticidade, foi proposto o cenário base de taxa de crescimento do tráfego, a saber:

- Cenário base: a atenuação calculada através da variação do PIB per capita é considerada, ou seja, a variação da elasticidade calculada é adotada com fator de multiplicação igual a 1 (um). Este é o cenário utilizado na sequência do estudo de tráfego;

Após definidas as taxas de crescimento se procede com a expansão do tráfego através da seguinte equação:

$$Volume_{futuro} = Volume_{atual} \times (1 + taxa)^n$$

Onde n representa o ano futuro e taxa corresponde ao valor de projeção a ser adotado para crescimento de acordo com o cenário.

Por fim, a partir das informações de projeções e elasticidade fornecidas, adotaram-se as seguintes taxas de crescimento de tráfego anual, conforme Tabela 25.

Tabela 25: Taxas de crescimento de tráfego adotadas

Leves	Pesados
2,50%	2,75%

7 MATRIZ ORIGEM-DESTINO

7.1 Matriz Origem-Destino Base

Os dez principais pares de Origens e Destinos das rodovias podem ser verificados nas tabelas seguintes, nas quais estão elencados os maiores valores verificados das viagens da matriz por categoria (leves, comercial leve e comercial pesado).

Foram contabilizadas ao todo 54.429 viagens diárias de veículos de passeio e 9.815 viagens de veículos comerciais leves e 4.209 viagens de veículos comerciais pesados, contabilizando-se assim 68.453 viagens diárias nas rodovias estudadas.

Tabela 26: Principais origens e destinos verificados para as viagens de veículos leves

MATRIZ PASSEIO				
ORIGEM	DESTINO	Ordem	%	Viagens
CASTANHAL-PA	SANTA ISABEL DO PARÁ-PA	1	7,03%	3828
BELÉM-PA	BENEVIDES-PA	2	4,79%	2606
MARITUBA-PA	BENEVIDES-PA	3	4,64%	2526
BELÉM-PA	CASTANHAL-PA	4	3,84%	2091
BENEVIDES-PA	MARITUBA-PA	5	3,33%	1812
BELÉM-PA	BELÉM-PA	6	3,22%	1755
ANANINDEUA-PA	BENEVIDES-PA	7	3,15%	1713
BENEVIDES-PA	BELÉM-PA	8	2,82%	1533
MARITUBA-PA	MARITUBA-PA	9	2,78%	1514
CASTANHAL-PA	BELÉM-PA	10	2,64%	1438

Tabela 27: Principais origens e destinos verificados para as viagens de veículos comerciais leves

MATRIZ COMERCIAIS LEVES				
ORIGEM	DESTINO	Ordem	%	Viagens
CASTANHAL-PA	BELÉM-PA	1	13,66%	1341
ANANINDEUA-PA	BENEVIDES-PA	2	4,94%	485
BELÉM-PA	CASTANHAL-PA	3	4,07%	400
BELÉM-PA	BENEVIDES-PA	4	3,36%	330
ANANINDEUA-PA	BELÉM-PA	5	3,09%	303
BENEVIDES-PA	BELÉM-PA	6	2,77%	272
BELÉM-PA	BELÉM-PA	7	2,41%	237
MARITUBA-PA	BENEVIDES-PA	8	2,24%	220
MARITUBA-PA	BENEVIDES-PA	9	2,24%	220
BELÉM-PA	MARITUBA-PA	10	2,18%	214

Tabela 28: Principais origens e destinos verificados para as viagens de veículos comerciais pesados

MATRIZ COMERCIAIS PESADOS				
ORIGEM	DESTINO	Ordem	%	Viagens
ANAPURUS-MA	CAPANEMA-PA	1	14,95%	629
BELÉM-PA	CAPANEMA-PA	2	14,95%	629
ANANINDEUA-PA	MÃE DO RIO-PA	3	10,82%	455
BARCARENA-PA	MARABÁ-PA	4	7,44%	313
BELÉM-PA	SANTA MARIA DO PARÁ-PA	5	6,41%	270
MARABÁ-PA	BARCARENA-PA	6	4,64%	195
BELÉM-PA	RECIFE-PE	7	4,27%	180
SÃO PAULO-SP	BELÉM-PA	8	3,25%	137
PARAGOMINAS-PA	BELÉM-PA	9	2,19%	92
PARAGOMINAS-PA	BENEVIDES-PA	10	2,19%	92

Nas análises que se seguem estão caracterizadas e resumidas algumas das respostas mais relevantes dos usuários entrevistados. Na Figura 37, que resume os motivos respondidos durante a entrevista, nota-se que a causa mais citada (75,29%) pelos entrevistados foi “Trabalho”, seguido de “Lazer/Passeio” (15,62%).

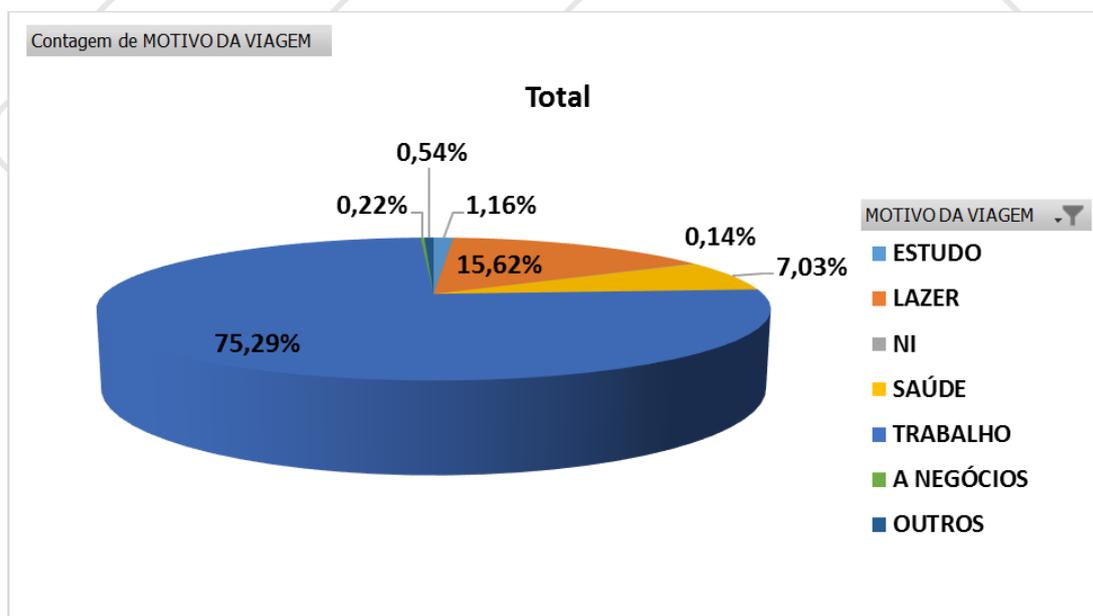


Figura 37: Motivo para a realização das viagens

No que diz respeito à frequência das viagens, na Figura 38 pode-se observar que 35,09% das viagens acontecem diariamente, 37,74% acontecem de 1 a 3 vezes na semana.

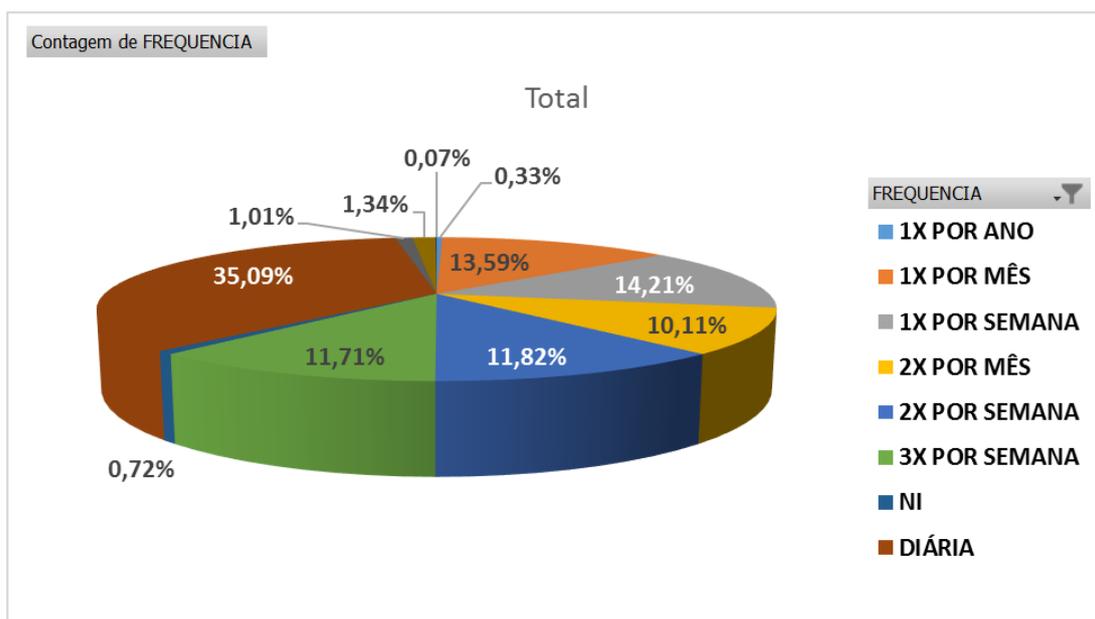


Figura 38: Frequência das viagens

Analisando as respostas dos veículos comerciais (caminhões leves e pesados) percebe-se que, conforme apresenta a Figura 39, aproximadamente 47% dos entrevistados trafegavam “cheios”, ou seja, carga plena e que 32,6% estavam vazios.

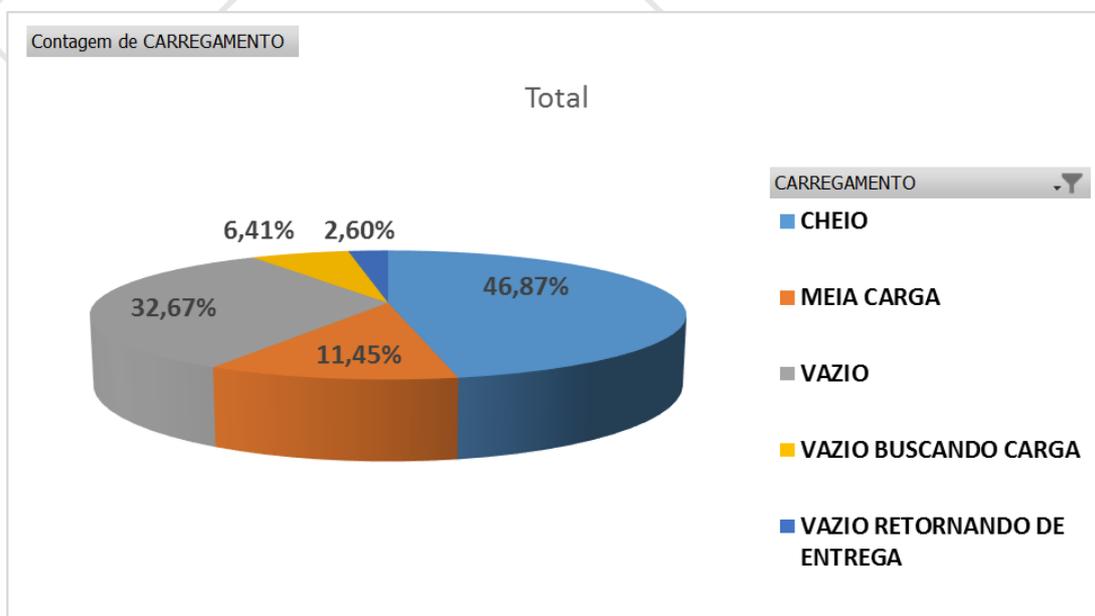


Figura 39: Carregamento da Frota de veículos comerciais

A figura a seguir indica que a maioria dos caminhões (aproximadamente 57%) que trafegavam na região durante as entrevistas possuem 5 eixos ou mais. Caminhões de 2 e 3 eixos representam aproximadamente 36% da amostra.

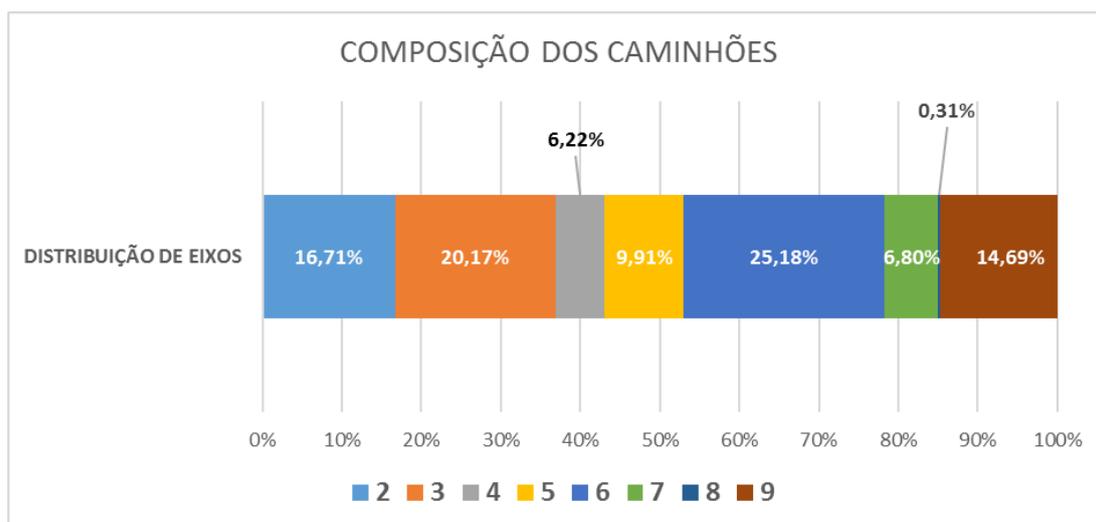


Figura 40: Composição dos caminhões por quantidade de eixos

Durante a análise de quais são os produtos transportados pelos veículos comerciais chegou-se nos seguintes itens, os quais são capazes de representar os tipos de cargas verificados durante as entrevistas.

- Madeiras (6%)
- Produtos Alimentícios (20,4%)
- Carga Viva (1,6%)
- Eletrônicos (7,1%)
- Grãos (8,25%)
- Minério (12%)

Há também respostas variadas e menos frequentes, como por exemplo:

- Combustíveis (gasolina, álcool, diesel).
- Cimento;
- Papel;
- Veículos (cegonha).

8 CALIBRAÇÃO DO MODELO LOGIT – TIPO A

8.1 RESULTADOS DO MODELO VEÍCULOS DE PASSEIO

Para calibração do modelo Logit, estimou-se primeiramente um modelo com a aplicação de todas as variáveis: Tarifa do Pedágio, Economia de Tempo na Rodovia Pedagiada, Distância a mais a ser percorrida na rodovia não pedagiada.

São apresentadas, a seguir, as medidas de desempenho do modelo Logit estimado para o cálculo de adesão da rota pedagiada dos veículos de passeio, bem como os respectivos coeficientes da função utilidade.

Conforme pode ser visto na Tabela 29, as variáveis: Economia de Tempo e Distância adicional não passaram no teste T e do valor-p o que leva a concluir que tais variáveis não possuem relação e não contribuem de forma significativa com a variável dependente, ou seja, adesão ao pedágio.

Tabela 29: Análise de regressão com todas as variáveis

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,79
R-Quadrado	0,62
R-quadrado ajustado	0,53
Erro padrão	2,05
Observações	17

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F tabelado (0,95;3,13)	Teste F	F de significação	Alfa	Teste Alfa
Regressão	3	89,04	29,68	7,09	3,41	OK	4,57E-03	0,05	OK
Resíduo	13	54,42	4,19						
Total	16	143,46							

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	T tabelado (0,95;13)	Teste T	valor-P	Alfa	Teste Alfa	95% inferiores	95% superiores	Intervalo de confiança
Interseção	4,97	2,61	1,90	2,16	Não	0,08	0,05	Não	-0,67	10,60	OK
Economia de tempo	0,03	0,05	0,50	2,16	Não	0,63	0,05	não	-0,09	0,14	OK
Distâncias a mais	0,04	0,11	0,37	2,16	Não	0,72	0,05	não	-0,19	0,28	OK
Pedágios	-0,96	0,21	-4,61	2,16	OK	0,00	0,05	OK	-1,41	-0,51	OK

Diante dessa análise, descarta-se o uso destas variáveis. Neste sentido, foi estimado um novo modelo somente com a variável tarifa. Para estimativa do modelo foi utilizado o Software SPSS que utiliza, para regressão, o método da máxima verossimilhança.

O modelo obtido foi submetido a testes de hipótese nos quais tanto as variáveis quanto o efeito da equação mostraram-se capazes de prever a adesão do usuário.

Para verificar a adequação das variáveis e da equação as significâncias (Sig) devem ser menor que 0,05 (p-valor).

Tabela 30: Ajuste do modelo (passeio)

Adequação do ajuste			
	Qui-quadrado	df	Sig.
Pearson	12,814	1	0,000
Desviância	11,046	1	0,001

As variáveis do modelo também apresentaram significâncias menores que 0,05.

Tabela 31: Ajuste das variáveis do modelo (passeio)

Estimativas do parâmetro								
Adesão ^a	B	Erro Padrão	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Intervalo de Confiança para Exp(B)	
							Limite inferior	Limite superior
Interceptação	6,945	0,372	348,268	1	0,000			
1,00 Pedágio	-1,027	0,053	376,990	1	0,000	0,358	0,323	0,397

Além dos testes acima realizados foram avaliados também o pseudo R² e a classificação do modelo.

O pseudo R² é comparável ao R-quadrado da regressão linear. Ou seja, indica o percentual das variações ocorridas no Log da razão de chances são explicadas pelo conjunto das variáveis independentes. Seu valor varia de 0 a 1 em que valores de 0,2 a 0,4 já indicam um bom modelo, sendo comparado ao intervalo de 0,7 a 0,9 nos modelos de regressão linear.

Conforme pode ser visto na tabela seguinte, pelos diferentes métodos de cálculo do pseudo R² o modelo apresentou valores superiores a 0,4. Comprovando a qualidade da equação calibrada.

 Tabela 32: Valores de pseudo R² (passeio)

Pseudo R quadrado	
Cox e Snell	0,506
Nagelkerke	0,676
McFadden	0,510

Por último, observa-se que que o modelo apresenta uma classificação satisfatória, quanto ao uso de variáveis independentes como estimadores da adesão.

Tabela 33: Classificação do modelo (passeio)

Observado	Previsto		
	0,00	1,00	Porcentagem Correta
0,00	471	112	80,8%
1,00	39	602	93,9%
Porcentagem global	41,7%	58,3%	87,7%

Por fim, é apresentado a equação do modelo calibrado para veículos de passeio.

$$Y(\text{Passeio}) = 6,945 - 1,027 \times P$$

Onde:

P = Valor do pedágio em R\$.

A transformação de Y em % da probabilidade de adesão é apresentada na equação seguinte.

$$\%Prob_A = \frac{e^Y}{1 + e^Y}$$

Para demonstração da aplicação do modelo, foi obtido o gráfico da Figura 41, o qual demonstra os percentuais de adesão em função da variação da tarifa de pedágio. Nesta situação, foi realizada a variação do valor do pedágio de R\$0,10 a R\$ 10,00.

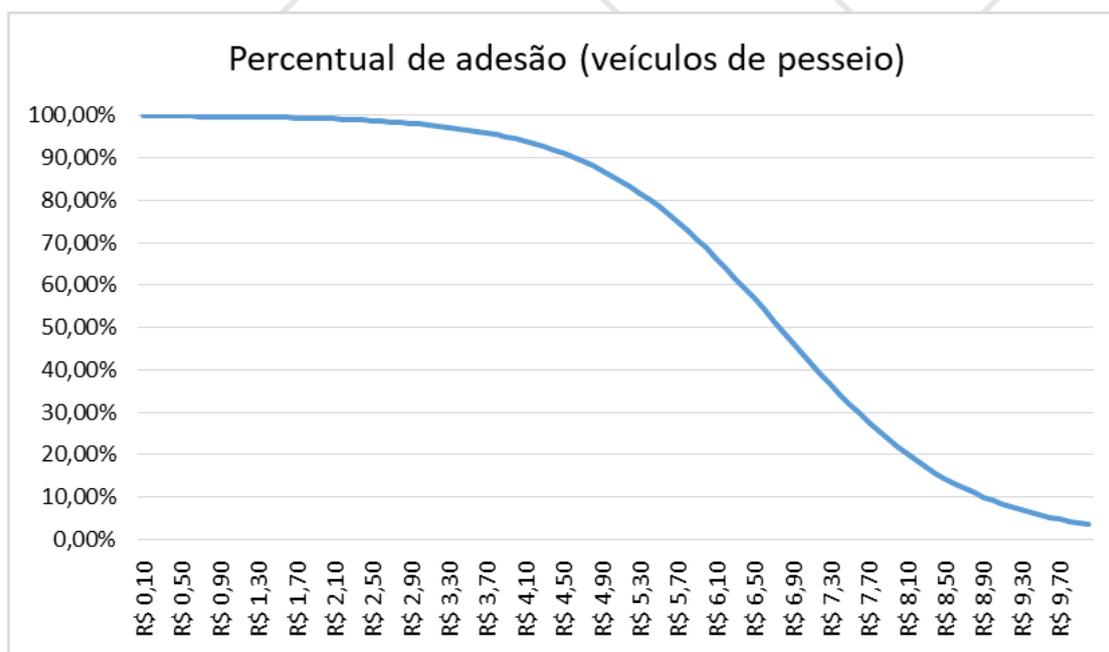


Figura 41: Variação da adesão em função da tarifa

Como era de ser esperado, quanto maior o valor da tarifa, menor é a adesão ao pedágio.

A partir da variação do percentual de adesão em função do valor da tarifa é possível obter a tarifa ótima. O cálculo da tarifa ótima é obtido conforme a equação seguinte, em que ela é o valor de X que maximiza a função.

$$\text{Tarifa ótima} = \arg \max R$$

Onde R é a função Receita, definida como:

$$R = \%Prob_A \times P$$

Onde:

$$\%Prob_A = \frac{e^Y}{1 + e^Y}$$

P = Preço do pedágio

Importante salientar que R, que representa a função Receita (R) é diferente da receita (arrecadação) da rodovia.

A arrecadação da rodovia anual é definida, por:

$$\text{Arrecadação} = R \times VMD_{A+B} \times 365$$

Onde:

R = Função receita

VMD_{A+B} = Somatório do VDM no sentido A e B.

Logo, verifica-se que se a função receita é maximizada e arrecadação também será.

O gráfico de R em função da tarifa está apresentado na Figura 42.

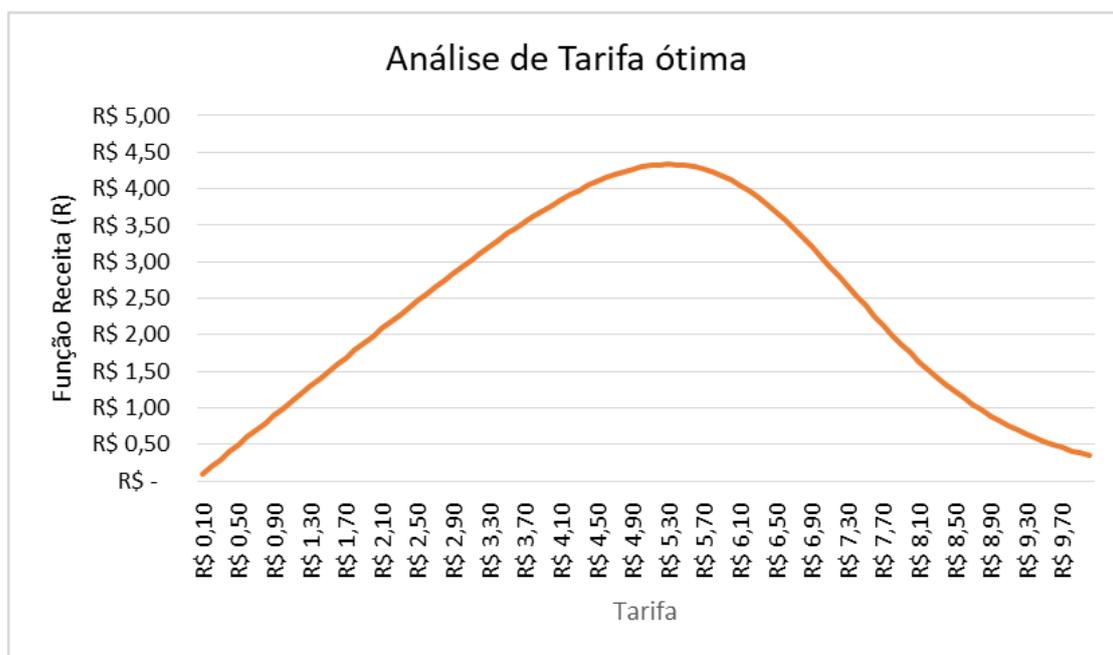


Figura 42: Estimativa de tarifa ótima

Obteve-se, portanto, o valor de tarifa ótima de **R\$5,30** com percentual de adesão de **81,79%**.

8.2 RESULTADOS DO MODELO VEÍCULOS COMERCIAIS

Para calibração do modelo Logit, estimou-se primeiramente um modelo com a aplicação de todas as variáveis: Tarifa do Pedágio, Economia de Tempo na Rodovia Pedagiada, Distância a mais a ser percorrida na rodovia não pedagiada.

São apresentadas, a seguir, as medidas de desempenho do modelo Logit estimado para o cálculo de adesão da rota pedagiada dos veículos comerciais, bem como os respectivos coeficientes da função utilidade.

Conforme pode ser visto na Tabela 34, as variáveis: Economia de Tempo e Distância adicional apresentaram significâncias maiores que o valor-p (0,05) o que leva a concluir que tais variáveis não possuem relação e não contribuem de forma significativa com a variável dependente, ou seja, adesão ao pedágio.

Tabela 34: Análise de regressão com todas as variáveis

Adesão ^a	B	Erro Padrão	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Intervalo de Confiança para Exp(B)	
							Limite inferior	Limite superior
Interceptação	4,055	,755	28,815	1	,000			
1,00 Pedágio	-,647	,069	87,955	1	,000	,524	,458	,600
Tempo_Adicional	,006	,015	,152	1	,697	1,006	,977	1,036

Distância_Adicional	,012	,030	,164	1	,685	1,012	,955	1,072
---------------------	------	------	------	---	------	-------	------	-------

Diante dessa análise, descarta-se o uso destas variáveis. Neste sentido, foi estimado um novo modelo somente com a variável tarifa. Para estimativa do modelo foi utilizado o Software SPSS que utiliza, para regressão, o método da máxima verossimilhança.

O modelo obtido foi submetido a testes de hipótese nos quais tanto as variáveis quanto o efeito da equação mostraram-se capazes de prever a adesão do usuário.

Para verificar a adequação das variáveis e da equação as significâncias (Sig) devem ser menor que 0,05 (p-valor).

Tabela 35: Ajuste do modelo (comercial)

	Qui-quadrado	df	Sig.
Pearson	22,679	1	,000
Desviância	26,754	1	,000

As variáveis do modelo também apresentaram significâncias menores que 0,05.

Tabela 36: Ajuste das variáveis do modelo (comercial)

Adesão ^a	B	Erro Padrão	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Intervalo de Confiança para Exp(B)	
							Limite inferior	Limite superior
Interceptação	4,346	,462	88,374	1	,000			
1,00 Pedágio	-,645	,069	88,040	1	,000	,525	,459	,600

Além dos testes acima realizados foram avaliados também o pseudo R² e a classificação do modelo.

O pseudo R² é comparável ao R-quadrado da regressão linear. Ou seja, indica o percentual das variações ocorridas no Log da razão de chances são explicadas pelo conjunto das variáveis independentes. Seu valor varia de 0 a 1 em que valores de 0,2 a 0,4 já indicam um bom modelo, sendo comparado ao intervalo de 0,7 a 0,9 nos modelos de regressão linear.

Conforme pode ser visto na tabela seguinte, pelos diferentes métodos de cálculo do pseudo R² o modelo apresentou valores satisfatórios. Comprovando a qualidade da equação calibrada.

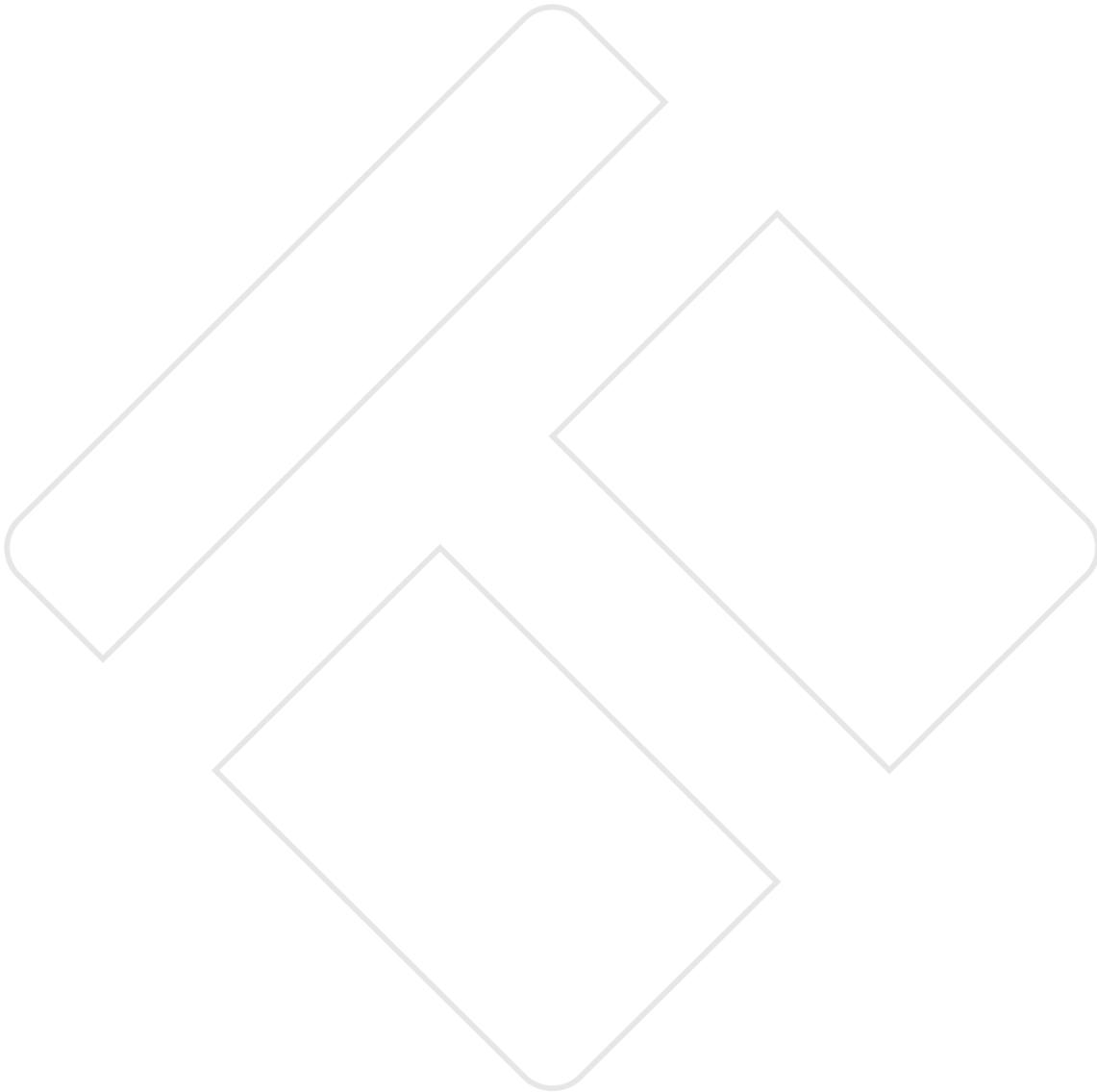


Tabela 37: Valores de pseudo R² (comercial)

Pseudo R quadrado	
Cox e Snell	,327
Nagelkerke	,441
McFadden	,292

Por último, observa-se que o modelo apresenta uma classificação satisfatória, quanto ao uso de variáveis independentes como estimadores da adesão.

Tabela 38: Classificação do modelo (comercial)

Observado	Previsto		
			Porcentagem
	,00	1,00	Correta
,00	76	63	54,7%
1,00	28	169	85,8%
Porcentagem global	31,0%	69,0%	72,9%

Por fim, é apresentado a equação do modelo calibrado para veículos comerciais.

$$Y(\text{Comercial}) = 4,346 - 0,645 \times P$$

Onde:

P = Valor do pedágio em R\$.

A transformação de Y em % da probabilidade de adesão é apresentada na equação seguinte.

$$\%Prob_A = \frac{e^Y}{1 + e^Y}$$

Para demonstração da aplicação do modelo, foi obtido o gráfico da Figura 43, o qual demonstra os percentuais de adesão em função da variação da tarifa de pedágio. Nesta situação, foi realizada a variação do valor do pedágio de R\$0,10 a R\$ 10,00.

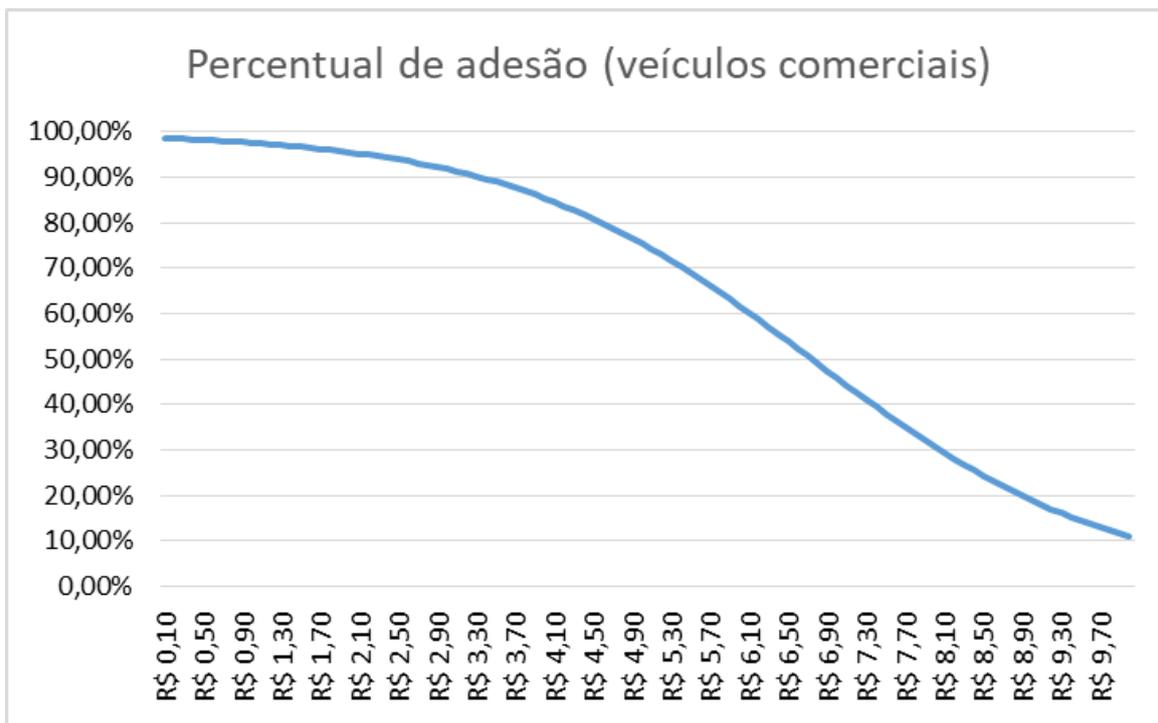


Figura 43: Variação da adesão em função da tarifa

Assim como previsto no modelo para leves, quanto maior o valor da tarifa, menor é a adesão ao pedágio para os veículos comerciais.

A partir da variação do percentual de adesão em função do valor da tarifa é possível obter a tarifa ótima. O cálculo da tarifa ótima é obtido conforme a equação seguinte, em que a mesma é o valor de X que maximiza a função.

$$\text{Tarifa ótima} = \arg \max R$$

Onde R é a função Receita, definida como:

$$R = \%Prob_A \times P$$

Onde:

$$\%Prob_A = \frac{e^Y}{1 + e^Y}$$

P = Preço do pedágio

Importante salientar que R, que representa a função Receita (R) é diferente da receita (arrecadação) da rodovia.

A arrecadação da rodovia anual é definida, por:

$$\text{Arrecadação} = R \times \text{VMD}_{A+B} \times 365$$

Onde:

R = Função receita

VMD_{A+B} = Somatório do VDM no sentido A e B.

Logo, verifica-se que se a função receita é maximizada e arrecadação também será.

O gráfico de R em função da tarifa está apresentado na Figura 44.

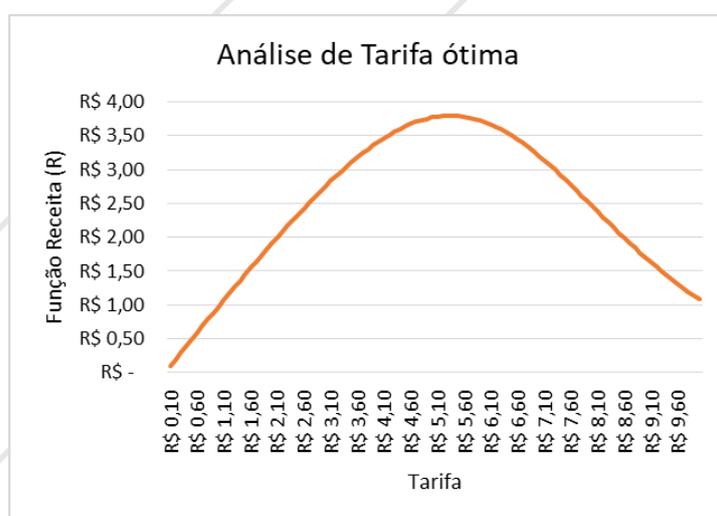


Figura 44: Estimativa de tarifa ótima

Obeve-se, portanto, o valor de tarifa ótima de **R\$5,30** com percentual de adesão de **71,66%**.

9 CALIBRAÇÃO DO MODELO LOGIT – TIPO B

9.1 RESULTADOS DO MODELO veículos de passeio

Para calibração do modelo Logit, estimou-se primeiramente um modelo com a aplicação de todas as variáveis: Tarifa do Pedágio, Tempo Adicional na rota alternativa e Serviço.

São apresentadas, a seguir, as medidas de desempenho do modelo Logit estimado para o cálculo de adesão da rota pedagiada dos veículos de passeio, bem como os respectivos coeficientes da função utilidade.

Conforme pode ser visto na Tabela 39, as variáveis: Serviço e Tempo adicional não passaram no teste T e do valor-p o que leva a concluir que tais variáveis não possuem relação e não contribuem de forma significativa com a variável dependente, ou seja, adesão ao pedágio.

Tabela 39: Análise de regressão com todas as variáveis

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,85
R-Quadrado	0,72
R-quadrado ajustado	0,66
Erro padrão	0,47
Observações	18

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F tabelado (0,95,3,13)	Teste F	F de significação	Alfa	Teste Alfa
Regressão	3	7,90	2,63	12,14	3,34	OK	3,48E-04	0,05	OK
Resíduo	14	3,04	0,22						
Total	17	10,94							

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	T tabelado (0,95,14)	Teste T	valor-P	Alfa	Teste Alfa	95% inferiores	95% superiores	Intervalo de confiança
Interseção	2,80	0,51	5,50	2,14	OK	0,00	0,05	OK	1,71	3,89	OK
Tarifas	-0,26	0,04	-5,75	2,14	OK	0,00	0,05	OK	-0,35	-0,16	OK
Serviço	-0,26	0,22	-1,19	2,14	Não	0,25	0,05	Não	-0,73	0,21	OK
Tempo adicional	-0,01	0,01	-1,37	2,14	Não	0,19	0,05	Não	-0,03	0,01	OK

Diante dessa análise, descarta-se o uso destas variáveis. Neste sentido, foi estimado um novo modelo somente com a variável tarifa. Para estimativa do modelo foi utilizado o Software SPSS que utiliza, para regressão, o método da máxima verossimilhança.

O modelo obtido foi submetido a testes de hipótese no qual foi rejeitado o uso da equação pois apresentou significâncias (Sig) maior do que 0,05 (p-valor).

Tabela 40: Ajuste do modelo (passeio Tipo B)

Adequação do ajuste			
	Qui-quadrado	df	Sig.
Pearson	0,048	1	0,826
Desviância	0,048	1	0,826

Um outro indicador de fracasso na obtenção do modelo foi o pseudo R^2 que apresentou, nos diferentes métodos, valores menores que 0,2.

Tabela 41: Valores de pseudo R^2 (passeio Tipo B)

Pseudo R quadrado	
Cox e Snell	0,077
Nagelkerke	0,105
McFadden	0,061

9.2 RESULTADOS DO MODELO VEÍCULOS COMERCIAIS

Para calibração do modelo Logit, estimou-se primeiramente um modelo com a aplicação de todas as variáveis: Tarifa do Pedágio, Tempo Adicional na rota alternativa e Serviço.

São apresentadas, a seguir, as medidas de desempenho do modelo Logit estimado para o cálculo de adesão da rota pedagiada dos veículos comerciais, bem como os respectivos coeficientes da função utilidade.

Conforme pode ser visto na Tabela 42 as variáveis: Serviço e Tempo adicional não passaram no teste T e do valor-p o que leva a concluir que tais variáveis não possuem relação e não contribuem de forma significativa com a variável dependente, ou seja, adesão ao pedágio.

Tabela 42: Análise de regressão com todas as variáveis

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,85
R-Quadrado	0,72
R-quadrado ajustado	0,66
Erro padrão	0,47
Observações	18

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F tabelado (0,95;3,14)	Teste F	F de significação	Alfa	Teste Alfa
Regressão	3	7,90	2,63	12,14	3,34	OK	3,48E-04	0,05	OK
Resíduo	14	3,04	0,22						
Total	17	10,94							

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	T tabelado (0,95;14)	Teste T	valor-P	Alfa	Teste Alfa	95% inferiores	95% superiores	Intervalo de confiança
Interseção	2,80	0,51	5,50	2,14	ok	0,00	0,05	OK	1,71	3,89	OK
Tarifas	-0,26	0,04	-5,75	2,14	ok	0,00	0,05	OK	-0,35	-0,16	OK
Serviço	-0,26	0,22	-1,19	2,14	Não	0,25	0,05	Não	-0,73	0,21	OK
Tempo adicional	-0,01	0,01	-1,37	2,14	Não	0,19	0,05	Não	-0,03	0,01	OK

Diante dessa análise, descarta-se o uso destas variáveis. Neste sentido, foi estimado um novo modelo somente com a variável tarifa. Para estimativa do modelo foi utilizado o Software SPSS que utiliza, para regressão, o método da máxima verossimilhança.

O modelo obtido foi submetido a testes de hipótese no qual foi rejeitado o uso da equação pois apresentou significâncias (Sig) maior do que 0,05 (p-valor).

Tabela 43: Ajuste do modelo (comercial Tipo B)

Adequação do ajuste			
	Qui-quadrado	df	Sig.
Pearson	1,031	1	0,310
Desviância	1,046	1	0,306

Um outro indicador de fracasso na obtenção do modelo foi o pseudo R^2 que apresentou, nos diferentes métodos, valores menores que 0,2.

 Tabela 44: Valores de pseudo R^2 (comercial Tipo B)

Pseudo R quadrado	
Cox e Snell	0,017
Nagelkerke	0,023
McFadden	0,013

10 MODELAGEM DE REDE GEORREFERENCIADA

O processo de modelagem para o presente estudo, tem por objetivo realizar análises de sensibilidade que permite obter a tarifa ótima do projeto, levando-se em consideração os segmentos de demanda dos usuários de veículos de passeio e veículos comerciais. Para simulação do tráfego utilizou-se *software Transcad*®.

A rede de macrossimulação é baseada em um banco de dados georreferenciado, subdividido em bases: viária, municípios, as quais são alimentadas com informações necessárias para o processo de modelagem.

Para efeito da modelagem de rede, consideram-se dois aspectos fundamentais: (1) o primeiro são que as viagens geradas (obtidas pela matriz OD) devem estar atreladas a uma zona de tráfego, a qual possui um centroide que a representa; e (2) que as zonas estejam devidamente conectadas a base viária.

Para definição das zonas de tráfego adotou-se como insumo inicial a divisão política dos municípios, ajustando as condições próprias do projeto. A Figura 45 apresenta o zoneamento, ainda de forma macro, proposto com base nos limites territoriais dos municípios que definem a área de influência do projeto.

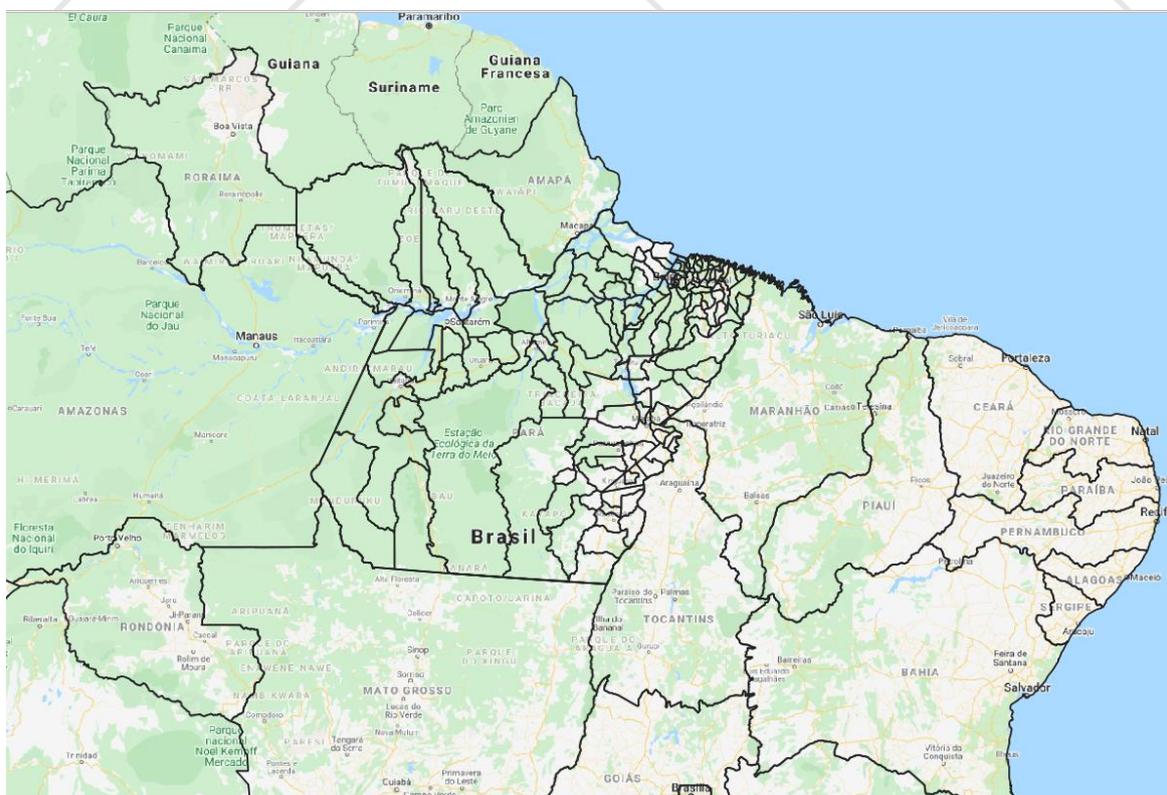


Figura 45: Zoneamento adotado

10.1 BASE VIÁRIA

A base viária, composta por links (segmentos lineares) é formada por rodovias pertencentes às malhas viárias federal e estadual do território nacional. A base viária federal é alimentada com atributos do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) e com valores levantados em campo pelo GPS e outros obtidos por via do software Google Earth.

Na Figura 46 pode-se observar a representação da rodovia através de links, com detalhe para os links (base viária) do Pará.

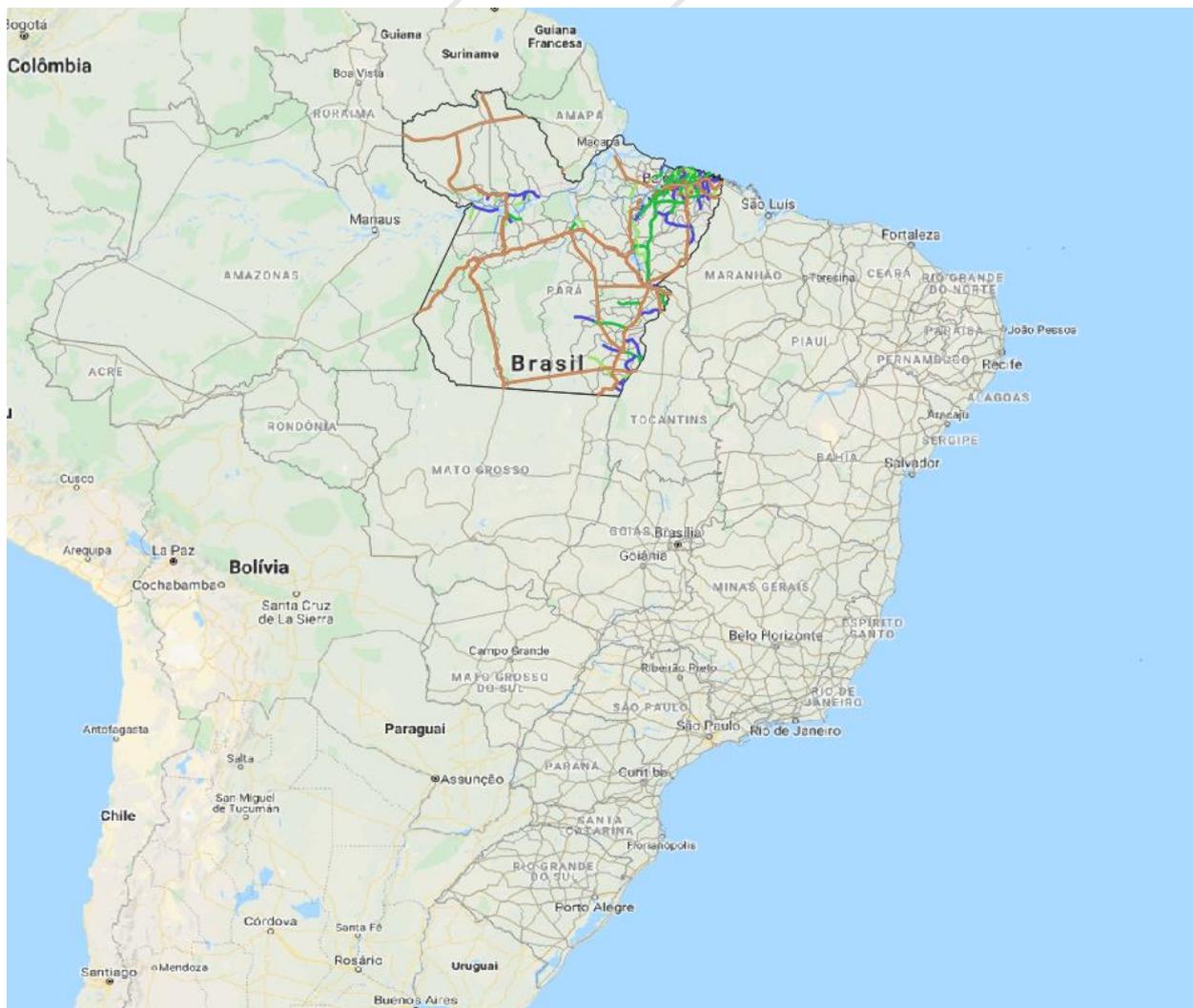


Figura 46: Base viária do estado do Pará utilizada no modelo

É importante mencionar que a maioria dos atributos utilizados para a modelagem de tráfego foram tomados da base georreferenciada do DNIT. Quando necessário, os atributos foram inseridos manualmente com base nas visitas a campo.

10.2 SISTEMA DE TRANSPORTES

Atualmente não há modos de transportes concorrentes às rodovias em avaliação, dado que a região em estudo no estado do Pará possui escassez de infraestruturas de transporte, conforme pode-se observar no mapa da Figura 47, que foi recortado do PELT do estado do Pará. Nota-se que há uma deficiência de infraestrutura, sobretudo na porção oeste do estado, onde há também a necessidade de implantação de vias transversais (ligação Leste-Oeste).

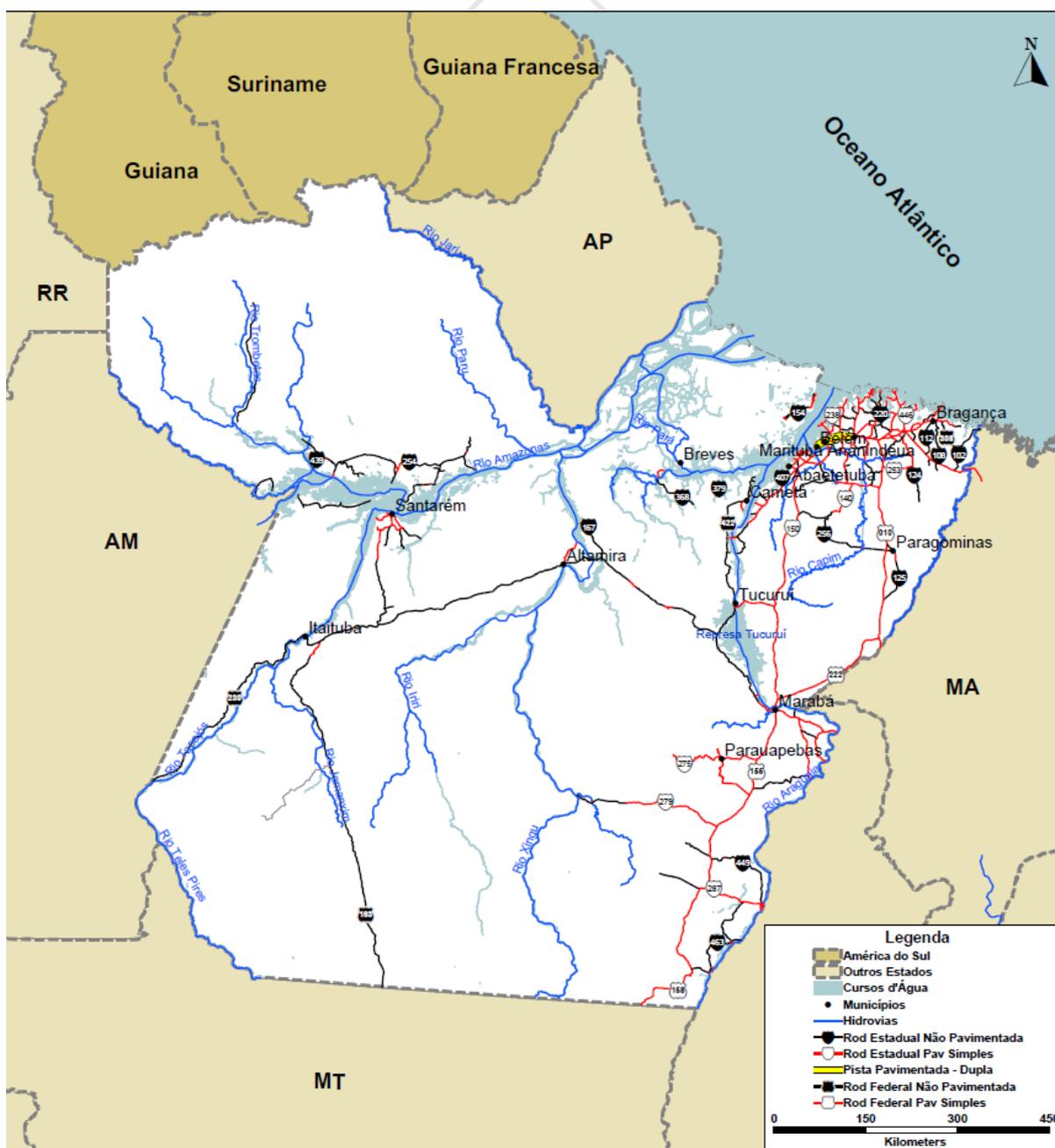


Figura 47: Mapa da Rede Rodoviária do Pará (Fonte: PELT PA)

Segundo o PELT, há também a pretensão de construir o trecho entre Barcarena (PA) até Açailândia (MA) da ferrovia Norte-Sul, um trecho de aproximadamente 477 quilômetros de extensão, como ilustra a Figura 48.

A implantação deste ramal auxiliaria na logística regional do transporte de minério de ferro e do agronegócio na área de influência da ferrovia, uma vez que teria interligação com o Porto de Vila do Conde.

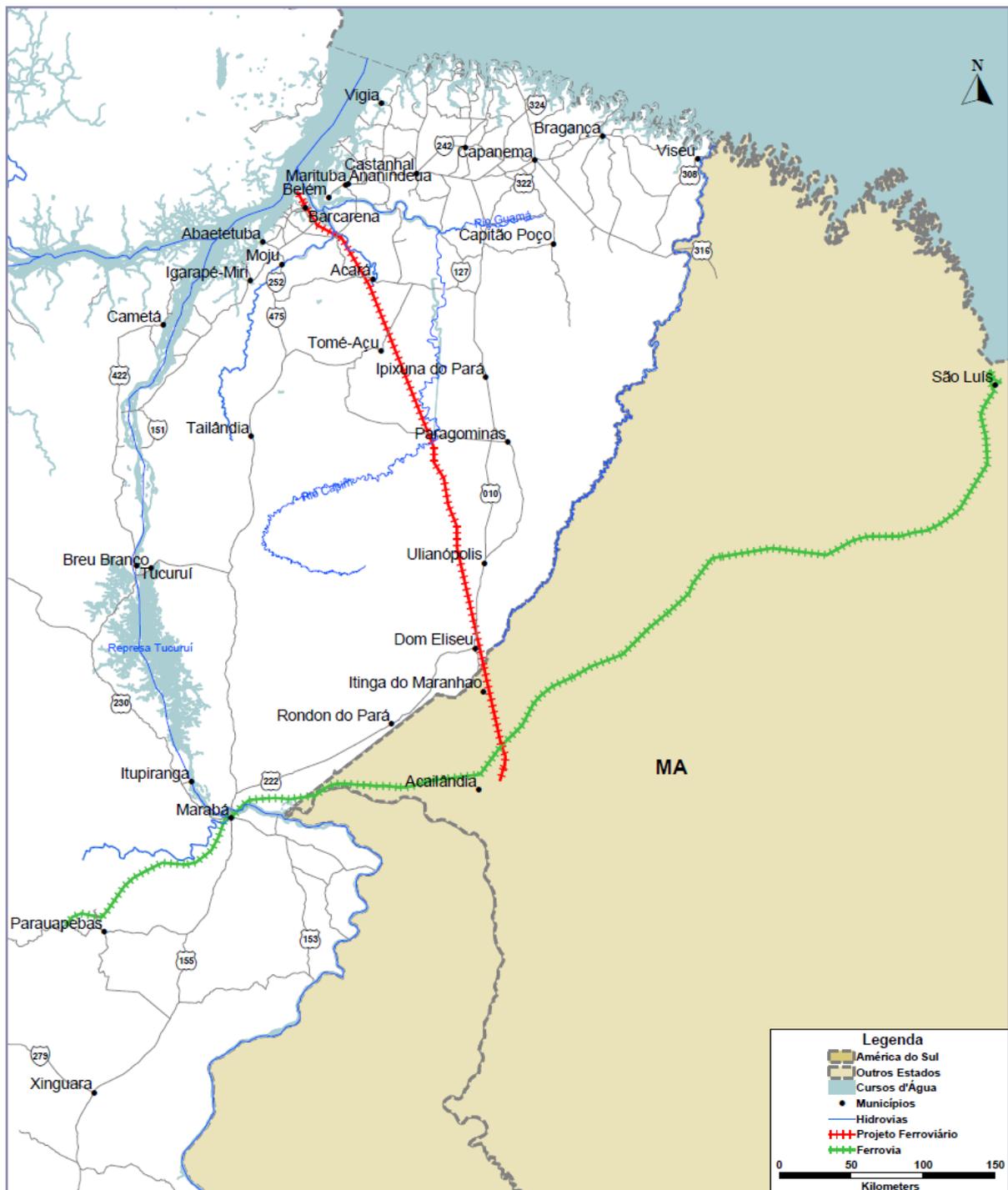


Figura 48: Detalhe da Ferrovia Norte-Sul entre Açailândia (MA) e Barcarena (PA) (fonte: PELT Pará)

Embora o trecho da ferrovia Norte-Sul tenha um traçado similar ao da PA-150 e demais rodovias em análise, não será considerado, na modelagem de tráfego, nenhum impacto, seja ele positivo ou negativo de um possível construção da ferrovia no tráfego das rodovias, dado que o projeto está em *stand by* por muito tempo e quando vier a pauta novamente demoraria mais alguns anos para licitação, projeto e construção.

Além disso, há também a previsão no PELT-PA da implantação do projeto de viabilização da navegação da Hidrovia do Tocantins. O principal empecilho para o uso do Rio Tocantins como via de escoamento é a existência de pedrais que impedem a navegação em períodos de baixa o nível d'água. O Pedral do Lourenço, localizado entre o lago de Tucuruí e o Marabá é o primeiro pedral a ser derrocado, o que permitirá a navegação no trecho durante todo o ano.

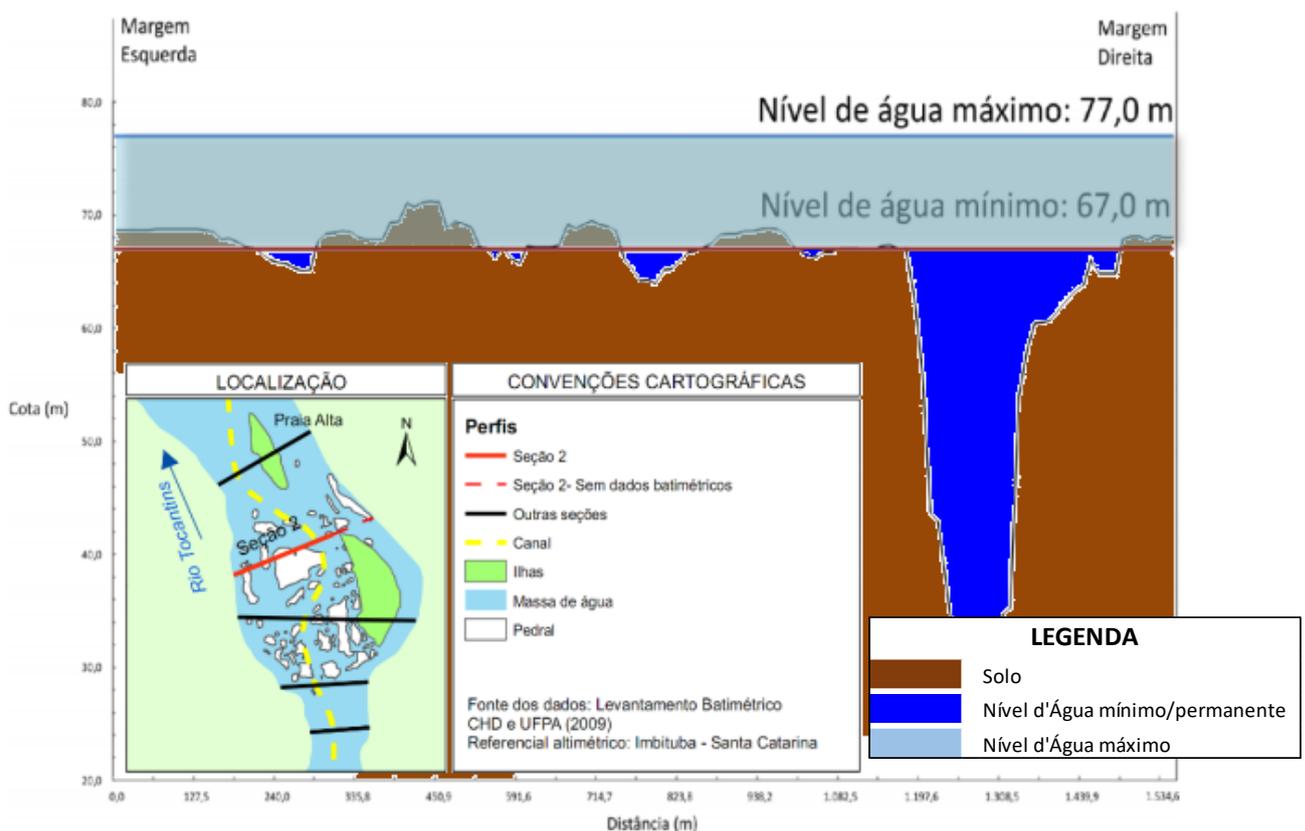


FIGURA 5 – EXEMPLO DE SEÇÃO TRANSVERSAL NA REGIÃO DOS PEDRAIS.

Figura 49: Detalhe da seção transversal do Rio Tocantins na região dos pedrais (fonte: Anteprojeto de derrocamento do Pedral do Lourenço. Adaptado.)

Destaque deve ser dado ao sistema de Eclusas da Barragem de Tucuruí, que representará grande restrição de capacidade ao sistema hidroviário em questão. A Figura 50, retirada do PELT-PA apresenta o projeto da hidrovia, que deverá conectar a região de Tucuruí até nas proximidades de Redenção/PA quase divisa com Mato Grosso.

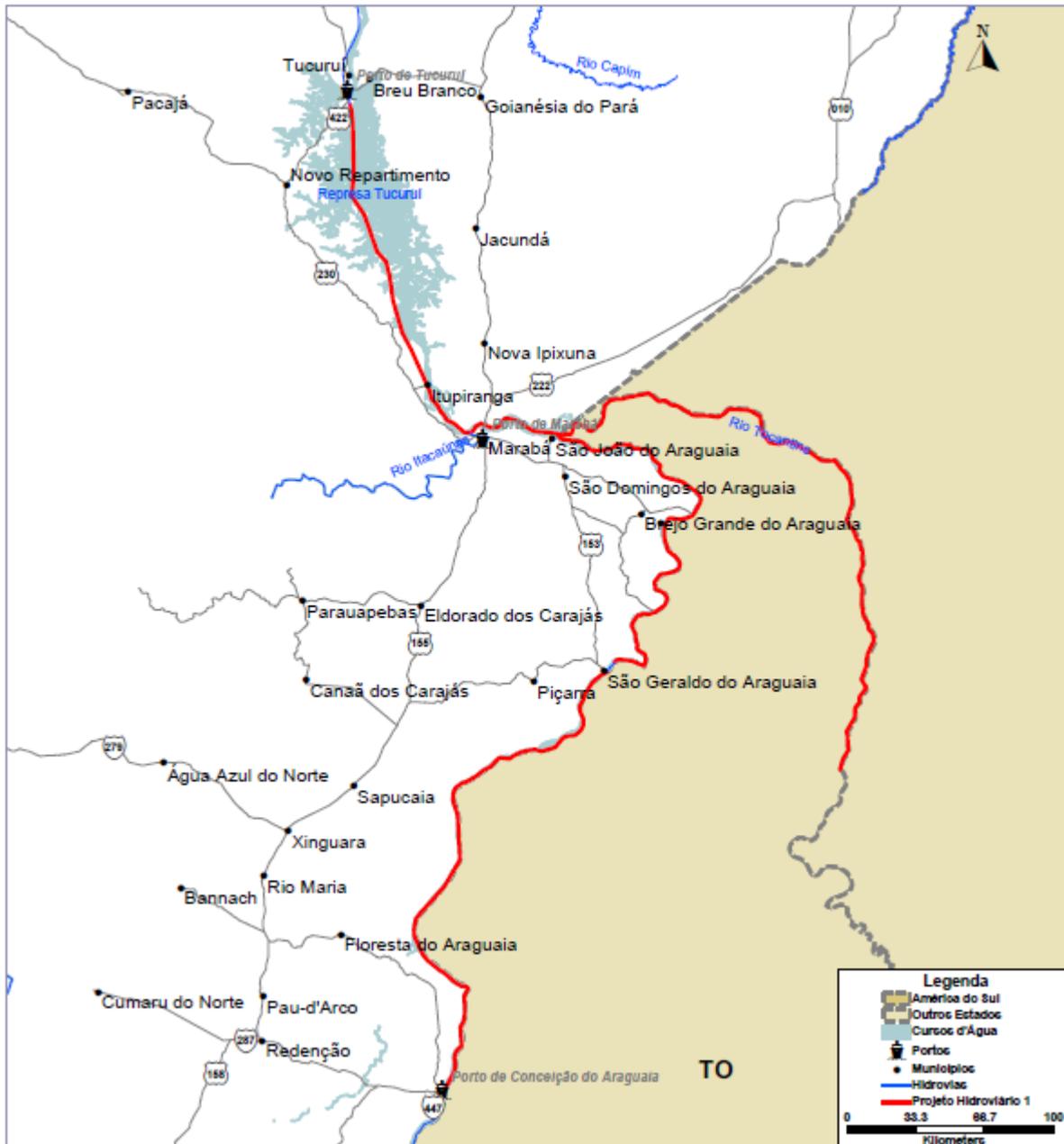


Figura 50: Detalhe da Hidrovia do Tocantins-Araguaia entre Tucuruí (PA) e Conceição do Araguaia (PA) (Fonte: PELT Pará)

10.3 ZONEAMENTO

A divisão por zonas foi baseada nos limites territoriais e refinada a partir da matriz OD, que possibilita, através do par Origem-Destino, uma visão espacial acerca das viagens, agrupando-as em grandes zonas, quando for o caso.

O zoneamento seguiu a seguinte lógica:

- Em primeiro nível, denominada área de estudo, tem-se cada um dos municípios do estado do Pará, que foram numeradas de 1 a 223;
- Em segundo nível, os demais estados da federação, com ênfase para as capitais e regiões metropolitanas

Foram definidas um total de 225 zonas de tráfego para este trabalho, onde a Figura 51 apresenta um breve detalhe do zoneamento adotado.



Figura 51: Detalhe para o zoneamento adotado

10.4 SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

A distribuição das viagens é obtida de forma direta da matriz diária, adequada ao zoneamento proposto. A seleção de caminho baseou-se nos resultados das pesquisas de preferência declarada por meio do modelo Logit e obteve-se também os valores subjetivos do tempo (R\$/h) e do deslocamento (R\$/km), os quais são insumos para a seleção de caminhos e permitem realizar a sensibilidade da demanda tarifária.

O valor do tempo, ou valor subjetivo do tempo de viagem – SVTTS, é definido como uma possibilidade que um usuário ou grupo de usuários possui em aumentar a qualidade da viagem um uma unidade.

Para cálculo do valor subjetivo de tempo levou-se em consideração a renda média ponderada dos usuários da rodovia reveladas na pesquisa dividida por uma jornada mensal de 180 horas. Este procedimento foi aplicado para a categoria de veículos de passeio e comercial.

$$\text{Valor do tempo} = \frac{\text{Renda média}}{180}$$

Considerando o salário-mínimo de 2021 de R\$ 1.100,00 têm-se na Tabela 45 os valores em R\$/h por faixa salarial.

Tabela 45: Valores considerados por faixa salarial (veículos leves)

Salários Mínimos	Renda Média (mensal)	R\$/h
1--2	R\$ 1.567,50	R\$ 8,91
2--3	R\$ 2.612,50	R\$ 14,84
3--4	R\$ 3.657,50	R\$ 20,78
4--5	R\$ 4.702,50	R\$ 26,72

Então, após se obter o valor do tempo, verifica-se a composição dos entrevistados em cada faixa salarial (média ponderada). O resultado é o produto do percentual de cada faixa salarial pelo valor do tempo (R\$/h). As tabelas seguintes apresentam os resultados obtidos para as rodovias considerando veículos de passeio.

Tabela 46: Valores calculados em R\$/h (veículos passeio)

Salários Mínimos	R\$/h	%	Composição
1--2	R\$ 8,91	19%	R\$ 1,66
2--3	R\$ 14,84	41%	R\$ 6,04
3--4	R\$ 20,78	23%	R\$ 4,70
4--5	R\$ 26,72	18%	R\$ 4,83
TOTAL			R\$ 17,22

Após obtido o custo por hora (R\$/h), considera-se também o fator de desgaste/manutenção do veículo. Portanto, para veículos de passeio o custo de manutenção considerado foi de 20% sobre o custo total, isto é, o R\$/h + 20%. Logo os valores finais para veículos de passeio estão demonstrados na Tabela 47.

Tabela 47: Custo final R\$/min + custo de manutenção (20%) - Veículos de passeio

Salários Mínimos	R\$/h	%	Composição
1--2	R\$ 8,91	19%	R\$ 1,66
2--3	R\$ 14,84	41%	R\$ 6,04
3--4	R\$ 20,78	23%	R\$ 4,70
4--5	R\$ 26,72	18%	R\$ 4,83
TOTAL			R\$ 20,67

No que diz respeito aos veículos comerciais de modo geral, o processo de obtenção do custo por hora é semelhante ao demonstrado anteriormente.

Considerando a composição (% de usuários) dentro de cada faixa salarial, obteve-se o valor final do custo por hora (Tabela 48) e o custo consolidado considerando o acréscimo de 50% devido a manutenção (Tabela 49).

Tabela 48: Valores calculados em R\$/h (veículos comerciais)

Salários Mínimos	R\$/h	%	Composição
1--2	R\$ 8,91	21%	R\$ 1,88
2--3	R\$ 14,84	54%	R\$ 8,00
3--4	R\$ 20,78	19%	R\$ 3,88
4--5	R\$ 26,72	6%	R\$ 1,69
TOTAL			R\$ 15,45

Tabela 49: Custo final R\$/min + Manutenção (50%) – Veículos Comerciais

Salários Mínimos	R\$/h	%	Composição
1--2	R\$ 8,91	21%	R\$ 2,82
2--3	R\$ 14,84	54%	R\$ 12,01
3--4	R\$ 20,78	19%	R\$ 5,82
4--5	R\$ 26,72	6%	R\$ 2,54
TOTAL			R\$ 23,18

É oportuno esclarecer que a parcela do custo de manutenção é resultante de uma média ponderada dos eixos dos veículos comerciais mais recorrentes nas rodovias em análise, portanto, sendo adotado em igual forma para comerciais leves e pesados.

No que tange a composição dos custos de deslocamento, foi calculado também o desembolso dos usuários por km deslocado. Para obtenção desse valor para veículos de passeio e comercial, foi realizada a média ponderada em R\$/km, de acordo com as repostas dos usuários quando questionados sobre o combustível utilizado e autonomia (km/l) do veículo.

Os valores de referência para litro de combustível foram retirados da Agência Nacional do Petróleo (ANP), considerando o valor médio dos estados de Minas e Espírito Santo disponível em www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Por_Estado_Index.asp (2021).

As tabelas a seguir apresentam os valores considerados dos combustíveis bem como os valores médios de autonomia de veículos declarados pelos usuários, o valor final é R\$/km dos usuários.

Tabela 50: Valores em R\$/km por tipo de combustível (veículos de passeio)

COMBUSTIVEL	PREÇO	AUTONOMIA / RENDIMENTO	R\$/km	COMPOSIÇÃO	PREÇO
	PARÁ				
Gasolina	R\$ 4,68	10,9	R\$ 0,43	62%	R\$ 0,27
Álcool	R\$ 4,01	10,41	R\$ 0,39	1%	R\$ 0,00
Diesel	R\$ 4,03	6,22	R\$ 0,65	37%	R\$ 0,24
TOTAL					R\$ 0,51

Tabela 51: Valores em R\$/km – Diesel (veículos comerciais)

COMBUSTIVEL	PREÇO	AUTONOMIA / RENDIMENTO	R\$/km	COMPOSIÇÃO	PREÇO
	PARÁ				
Diesel	R\$ 4,03	3,6	R\$ 1,12	100%	R\$ 1,12

A equação final de custo de rota será dada então da seguinte forma:

$$\text{Custo de Rota} = \text{Distância} \times C_{R\$/km} + \text{Tempo} \times C_{R\$/h} + C_{pedágio}$$

10.5 PROCESSO DE ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

O processo de alocação consiste em, através das viagens entre pares OD, denominadas também como zonas de tráfego, estimar o tráfego passante em cada segmento de tráfego (base viária), já predefinidos. Além das viagens entre zonas, o processo de alocação considera também o custo de rota.

Nesse caso a alocação de tráfego ocorre através do método denominado SUE (Stochastic User Equilibrium) ou Equilíbrio Estocástico de Usuário o qual faz diversas interações com a rede viária definindo o melhor caminho entre o par O/D considerando que os usuários não percebem o custo de rota de forma idêntica (por exemplo, uns consideram tempo de viagem, outro custo de rota, outro liberdade de fluxo, outro

paisagem e etc.). No entanto, a maioria significativa das viagens que possuem custos muito diferentes, são alocados no caminho que possui o menor custo de rota.

Segundo Daganzo e Sheffi (1977) um fluxo em redes corresponde a solução de Equilíbrio Estocástico do Usuário quando nenhum usuário acredita ser possível diminuir seu próprio tempo de viagem através de uma mudança unilateral de rota.

Esse método de alocação é o que melhor se adéqua ao modelo devido a aleatoriedade de escolhas diante de uma rota, caso contrário, ou seja, excluído essa aleatoriedade, o tráfego seria alocado no caminho de menor custo, o que pode não acontecer.

Em suma, se há, por exemplo, três possíveis rotas entre a origem A e o destino B, essas rotas possuem custos diferentes entre si (diferença em função das distâncias e velocidades de cada rota), então, os custos são Rota 1 = 20 , Rota 2 = 22 e Rota 3 = 32, como em duas das três rotas os custos são próximos (rota 1 e rota 2) a alocação pelo método SUE aloca uma parcela de tráfego na rota 2 e uma parcela mais expressiva, compondo o total, na rota 1, o que representa a aleatoriedade entre os usuários. Já a rota 3 por apresentar um custo muito alto (se comparada as outras) não entra em cena.

11 INDICAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO PARA IMPLANTAÇÃO DAS PRAÇAS DE PEDÁGIO

Para indicação da localização das praças de pedágio deve-se levar em consideração os trechos homogêneos com maiores VDMs, ao mesmo tempo que, de acordo com a recomendação da ANTT, as praças de pedágio não devem ser localizadas próximas a cidades e povoados sujeitos a futura conurbação, evitando a tarifação de viagens curtas ou muito frequentes.

Deve-se evitar também a proximidade com locais de preservação ambiental, trechos de mata nativa ou cursos d'água.

É importante ressaltar que o sistema de pedagiamento (conjunto de praças) está diretamente atrelado ao desempenho da concessão, de modo que se as praças estão bem localizadas no quesito volume de tráfego a arrecadação tende a ser maior ou o oposto. Ou seja, a localização das praças impacta na capacidade de captação de receita.

Para o trecho em estudo foram definidas 8 praças de pedágio entre Marabá e Alça Viária (Ananindeua), conforme ilustra a Figura 52. É importante mencionar que a numeração das praças de pedágio se inicia a partir de Marabá em direção ao norte. As praças estão localizadas conforme Tabela 52.

Tabela 52: Localização das Praças de Pedágio

SH	Praça de Pedágio	Rodovia	Km	Descrição
4	PP1	PA-150	49,10	Fim PU Nova Ipixiuna - Início PU de Jacundá
6	PP2	PA-150	104,0	Fim PU de Jacundá - Início PU de Goianésia do Pará
8	PP3	PA-150	179,5	Entrº PA 263 (Fim PU Goianésia do Pará) - Posto da Polícia Rodoviária de Goianésia
8	PP4	PA-150	231,20	Posto da Polícia Rodoviária de Goianésia - Início PU de Tailândia
10	PP5	PA-150	288,5	Fim de PU de Tailândia - Entrº PA-475/256
11	PP6	PA-475	34,1	Entrº PA 256 x PA-475 - Entrº PA-475xPA-252 (Acará)
14	PP7	PA-252	40,4	Fim de PU de Moju - Entrº PA-151/252
18	PP8	Alça Viária	17,8	Entrº PA-151/483 - Início PU de Ananindeua

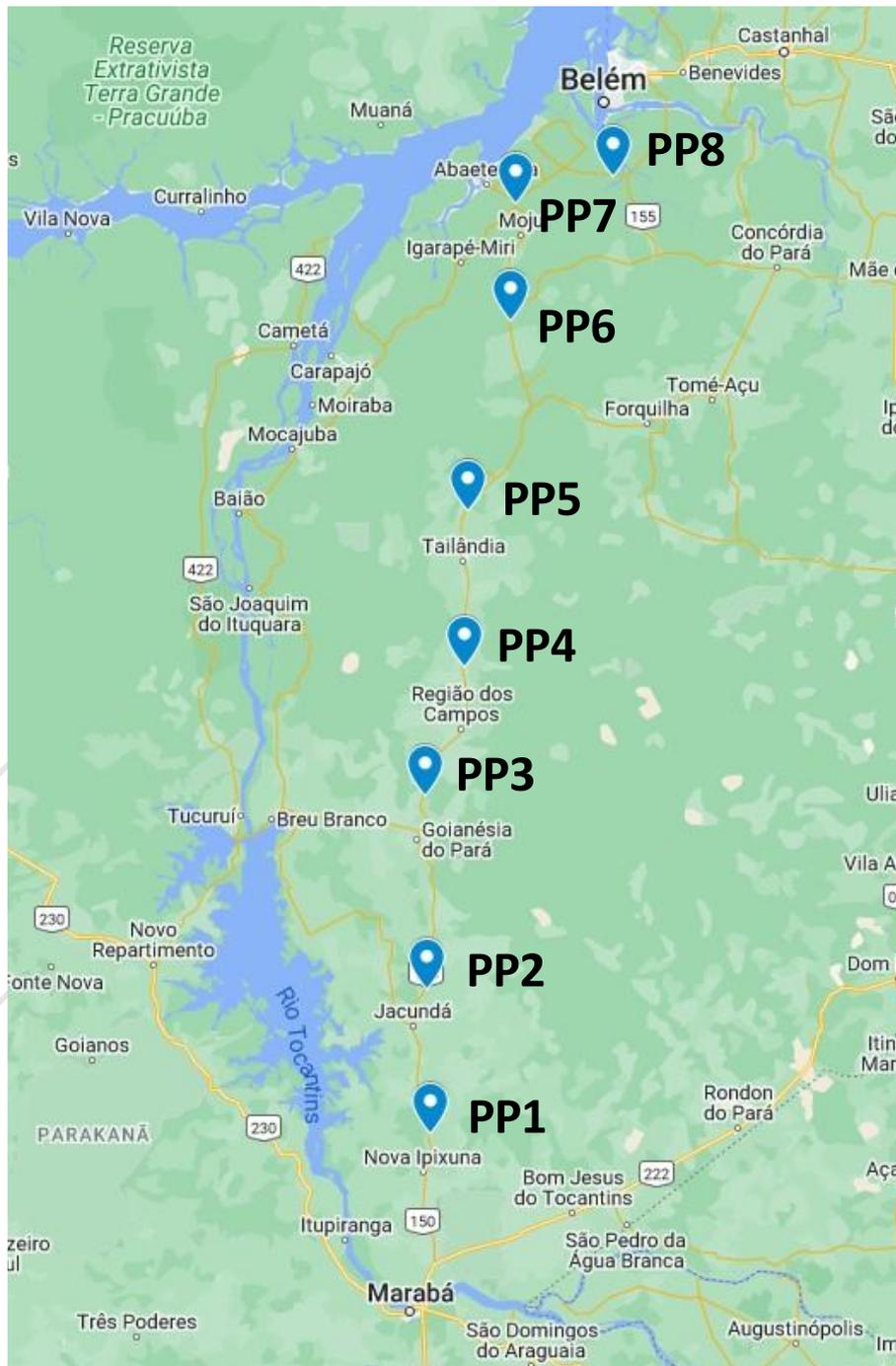


Figura 52: Localização das Praças de Pedágio

As 8 praças de pedágio estão dispostas com uma distância média entre si de 65,8 km, ou seja, o Trecho de Cobertura de Pedágio (TCP) é de aproximadamente 66 km.

11.1 IDENTIFICAÇÃO DE POSSÍVEIS ROTAS ALTERNATIVAS E/OU DE DESVIO

Antes de apresentar as avaliações das possíveis rotas alternativas e/ou de fuga é importante elucidar o conceito adotado para cada uma. A figura a seguir apresenta uma breve ilustração das opções em relação a praça de pedágio.



Figura 53: Ilustração de rota alternativa e rota de desvio

Rota alternativa é então aquela via “concorrente” a via pedagiada, sendo pedagiada ou não, porém, na maioria das vezes, com extensão maior entre os pontos de origem-destino.

Enquanto rota de fuga são aqueles caminhos curtos utilizados para desviar do trajeto em uma via pedagiada somente no ponto onde há ou estão localizadas as cabines de cobrança de pedágio. Geralmente esses desvios são de qualidade bem inferior as da rodovia.

Ao longo do eixo da PA-150 e demais rodovias em estudo foram identificados alguns trechos que permitem a realização de desvio e/ou fuga, ao quais são apresentados na sequência.

É importante mencionar que as fugas/desvios pelas rotas alternativas podem ou não ocorrer, o que de fato só poderá ser confirmado após a operação do pedágio.

No exemplo da Figura 54 pode-se verificar a possibilidade de se utilizar uma rota alternativa, de ligação norte-sul, via BR-010 (rota demarcada na cor azul), uma vez que esta possui o traçado semelhante àquela. Neste caso a BR-010 é uma via concorrente à concessão.

Como já citado, a possibilidade de desvio pode ou não acontecer, todavia devido ao traçado ele é factível.

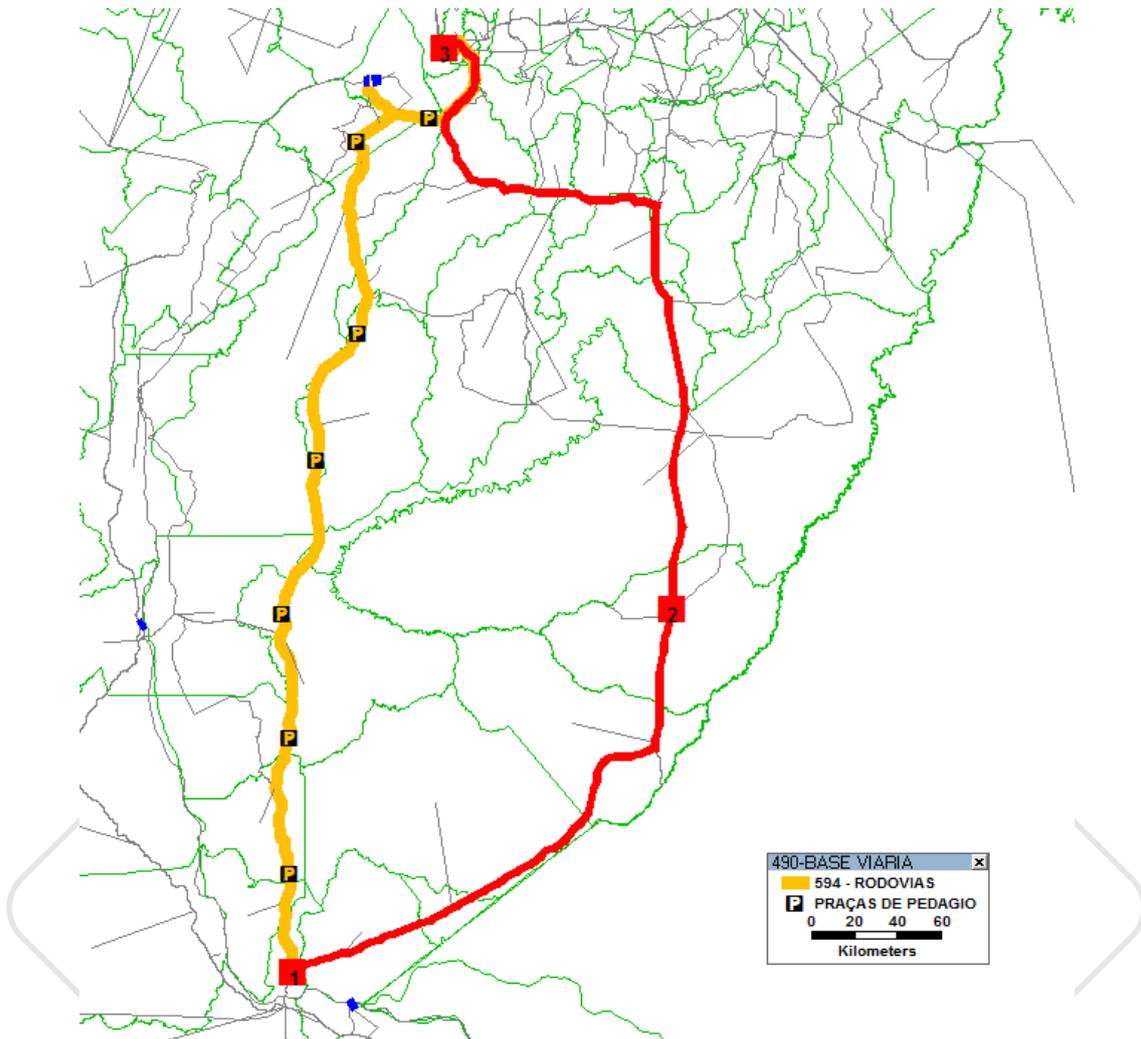


Figura 54: Detalhe para rota alternativa via BR—010

Outra possibilidade de rota alternativa/via concorrente é pela PA-151 (rota destacada na cor verde) como pode ser verificado na figura a seguir. De modo análogo à BR-010, o desvio pode ou não ocorrer, no entanto a possibilidade existe.

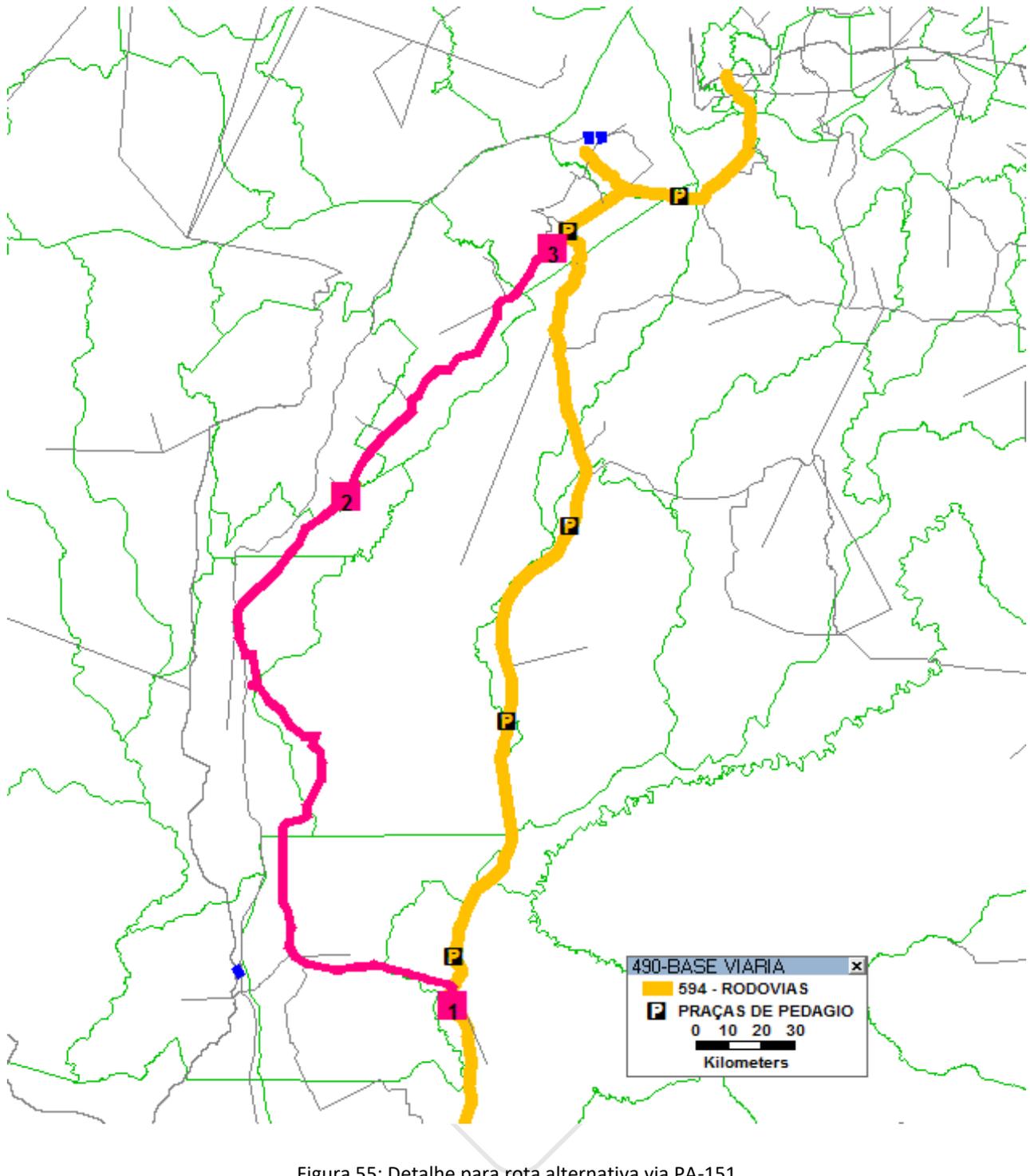


Figura 55: Detalhe para rota alternativa via PA-151

Digno de nota, a rota alternativa via PA-151 é mais extensa se comparada com a rota via PA-150.

Verifica-se também a possibilidade de algumas rotas de fuga, ou seja, desvio para não passar pela praça de pedágio, salienta-se que o ato de fuga ele poderá ou não acontecer.

Na figura adiante pode-se observar a possibilidade de fuga via PA-252 (rota demarcada na cor verde)

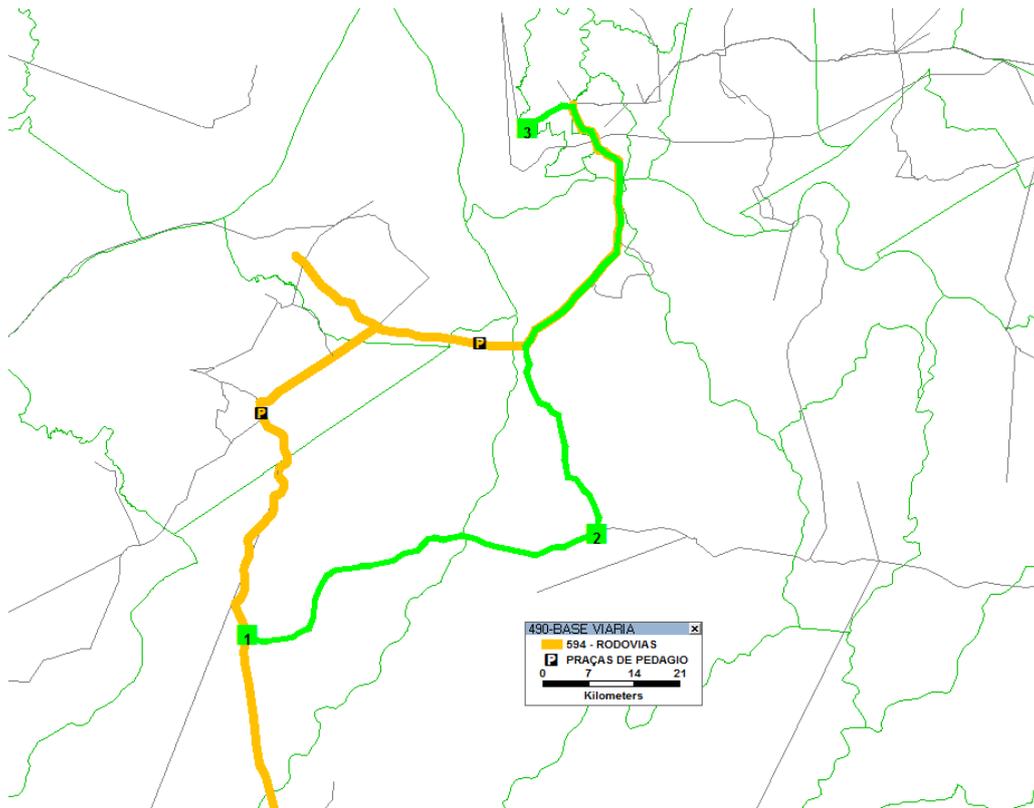


Figura 56: Detalhe para a possibilidade de fuga via PA-252

Na figura a seguir pode-se verificar a possibilidade de fuga da PP-01, em Marabá, via PA-151 e posteriormente PA-263 no sentido Marabá-Belém (rota demarcada na cor azul).

Lembrando que a rota de fuga é significativamente inferior, sobretudo no quesito distância e traçado, ou seja, é melhor que o usuário use a rota concessionada, todavia a possibilidade de fuga existe.

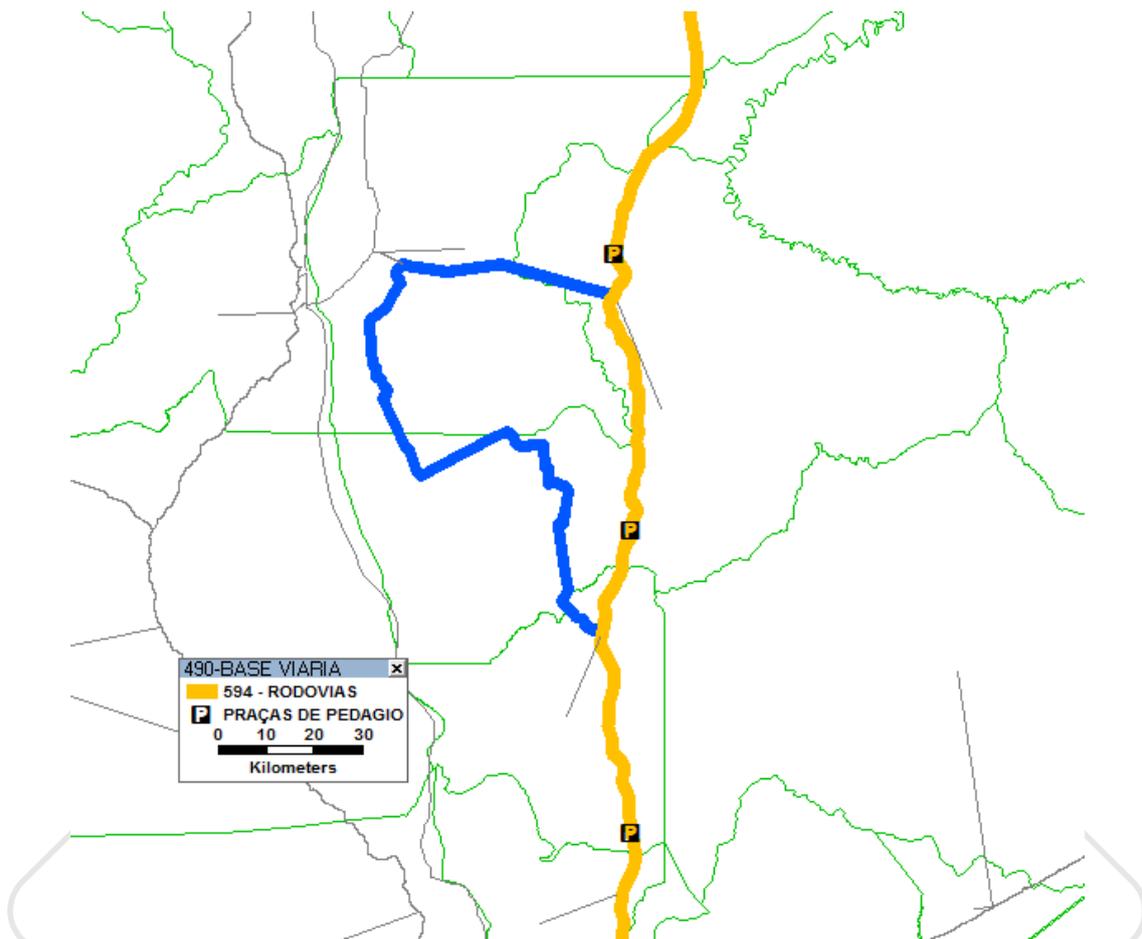


Figura 57: Detalhe para a possibilidade de fuga via PA-151/PA-263

Ressalta-se que este item tratou apenas de apresentar que existem possibilidade de fuga/concorrente ao trecho em avaliação para concessão, todavia é importante mencionar que após a realização de todas as obras de melhorias esperadas para PA-150 e demais rodovias em estudo para concessão a possibilidade de fuga será reduzida significativamente.

O item a ser apresentado posteriormente, tratará, quantitativamente, sobre qual o impacto dessas fugas/rotas alternativas no modelo de tráfego.

12 VOLUME DE TRÁFEGO – ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

12.1 CENÁRIO DE ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO

Uma vez calibrado, o modelo de alocação de tráfego é utilizado para estimar o tráfego das rodovias em questão. Para este estudo utilizou-se o processo de alocação para o cenário atual, isto é, alocação de tráfego com a matriz OD e a base viária atual.

12.1.1 Cenário base – Pedagiamento

Para fins de análise de nível de serviço e número deste estudo, considerou-se a matriz de geração de viagens obtida e expandida para os anos futuros aplicando-se as taxas de crescimento de tráfego mencionadas no capítulo 6.3. Para análises econômicas foram considerados os demais cenários de projeção de crescimento, porém todos seguindo a seguinte lógica operacional:

- Ano 0 (2022): Ano base para Modelo;
- Ano 1 (2023): Início da concessão, sem cobrança de pedágio;
- Ano 2 (2024): Início da cobrança de pedágio.

12.1.1.1 ESTIMATIVA DO VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL

A tabela a seguir mostra o resumo do VDMA dos segmentos homogêneos, considerando o cenário base, isto é, sem a implantação da navegação na hidrovia e ainda sem a cobrança da tarifa de pedágio. Na Figura 58 está um recorte da simulação para obtenção do VDMA do cenário base.

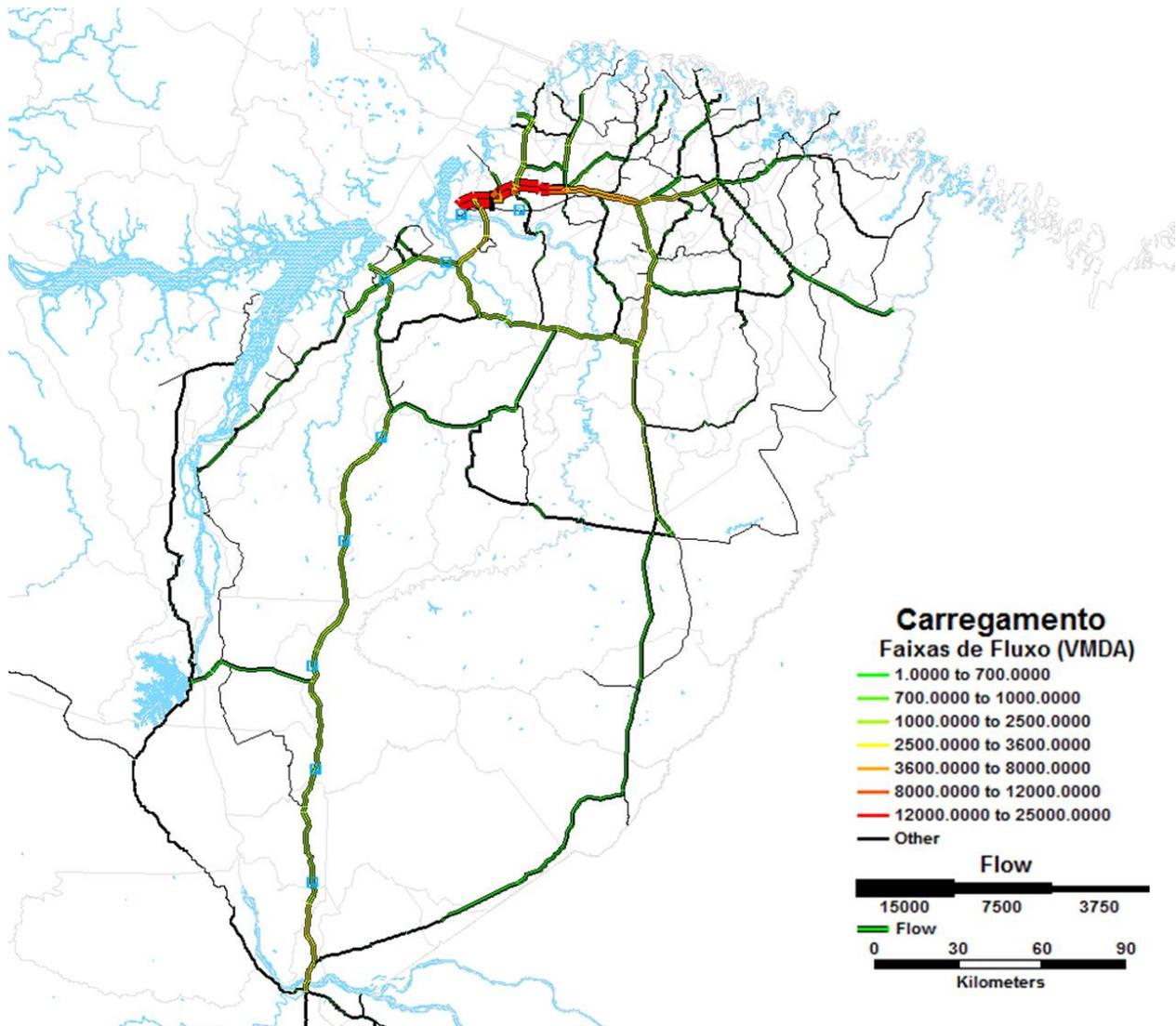


Figura 58: Carregamento do cenário base

Pode-se notar um expressivo volume na BR-316 nas proximidades de Belém.

12.1.1.2 FUGAS ESTIMADAS PELO MODELO

Conforme já explanado anteriormente no item 11, foram mapeadas algumas potenciais rotas concorrentes e de fuga, que durante o processo de alocação de tráfego o modelo estima, quantitativamente, qual a parcela do tráfego que faz a adesão ao desvio, dado que o custo de transporte é estritamente matemático, alocando a maior parcela de tráfego na caminho de menor custo entre sua zona de origem e zona de destino.

Tabela 53: Tabela resumo de fugas para o ano de abertura dos pedágios (2024)

Rodovia	Km	PCVC	FUGAS												
			CAT 01	CAT 02	CAT 03	CAT 04	CAT 05	CAT 06	CAT 07	CAT 08	CAT 09	CAT 10	CAT 11	CAT 12	CAT 13
PP-1-PA-150	49,1	1	-8,46%	-10,74%	-8,46%	-10,74%	-8,46%	-10,74%	-5,76%	-5,76%	-5,76%	-5,76%	-5,76%	-8,46%	-5,76%
PP-2-PA-150	104,0	2	-14,29%	-11,22%	-14,29%	-11,22%	-14,29%	-11,22%	-6,05%	-6,05%	-6,05%	-6,05%	-6,05%	-14,29%	-6,05%
PP-3-PA-150	179,5	3	-14,53%	-15,99%	-14,53%	-15,99%	-14,53%	-15,99%	-10,71%	-10,71%	-10,71%	-10,71%	-10,71%	-14,53%	-10,71%
PP-4-PA-150	231,2	4	-14,53%	-15,99%	-14,53%	-15,99%	-14,53%	-15,99%	-9,74%	-9,74%	-9,74%	-9,74%	-9,74%	-14,53%	-9,74%
PP-5-PA-150	288,5	5	-11,98%	-14,53%	-11,98%	-14,53%	-11,98%	-14,53%	-8,85%	-8,85%	-8,85%	-8,85%	-8,85%	-11,98%	-8,85%
PP-6-PA-150	367,1	6	-7,91%	-5,15%	-7,91%	-5,15%	-7,91%	-5,15%	-8,05%	-8,05%	-8,05%	-8,05%	-8,05%	-7,91%	-8,05%
PP-7-PA-252	40,4	7	-7,91%	-5,15%	-7,91%	-5,15%	-7,91%	-5,15%	-8,05%	-8,05%	-8,05%	-8,05%	-8,05%	-7,91%	-8,05%
PP-8-ALÇA VIÁRIA	17,8	8	-7,07%	-7,42%	-7,07%	-7,42%	-7,07%	-7,42%	-5,15%	-5,15%	-5,15%	-5,15%	-5,15%	-7,07%	-5,15%

Na Tabela 54 são apresentados os resumos de fugas que poderão ocorrer após o início da cobrança de pedágio (2024).

Tabela 54: Tabela resumo de fugas

RODOVIA	PRAÇA	VEÍCULOS	FUGAS DE TRÁFEGO
			2024
PP-1-PA-150	1	LEVES	-7,92%
		PESADOS	-7,63%
PP-2-PA-150	2	LEVES	-12,64%
		PESADOS	-7,99%
PP-3-PA-150	3	LEVES	-13,77%
		PESADOS	-12,69%
PP-4-PA-150	4	LEVES	-13,57%
		PESADOS	-12,08%
PP-5-PA-150	5	LEVES	-11,35%
		PESADOS	-10,98%
PP-6-PA-475	6	LEVES	-7,94%
		PESADOS	-6,96%
PP-7-PA-252	7	LEVES	-7,94%
		PESADOS	-6,96%
PP-8-ALÇA VIÁRIA	8	LEVES	-6,68%
		PESADOS	-6,00%
MÉDIA		LEVES	-10,23%
		PESADOS	-8,91%

Verificou-se uma fuga média de 10,23% de veículos leves e 8,91% para veículos comerciais.

E, conforme antecipado no item 4.3, está em fase de projeto a viabilidade do hidrovio, que irá concorrer com a PA-150. De acordo com fontes oficiais, a hidrovio deverá ser viabilizada até 2026, portanto, neste estudo considerar-se-á o impacto no tráfego, em função da possibilidade de navegação, no ano de 2026.

Após a previsão dos fluxos futuros baseado nas taxas de crescimento, considerando a elasticidade da demanda, foram calculados as fugas para o cenário de abertura da hidrovio (2026). É importante destacar

que assumiu-se que a queda de tráfego para veículos leves seria nula, ou seja, a nova oferta de transporte via modo hidroviário não impacta as viagens realizadas por essa categoria de veículos rodoviários. Assim sendo, a queda média de tráfego esperada para veículos pesados em todas as praças é de -16,02%.

RODOVIA	PRAÇA	VEÍCULOS	FUGAS DE TRÁFEGO
			2026
PP-1-PA-150	1	LEVES	0,00%
		PESADOS	-14,32%
PP-2-PA-150	2	LEVES	0,00%
		PESADOS	-20,69%
PP-3-PA-150	3	LEVES	0,00%
		PESADOS	-20,67%
PP-4-PA-150	4	LEVES	0,00%
		PESADOS	-20,67%
PP-5-PA-150	5	LEVES	0,00%
		PESADOS	-18,73%
PP-6-PA-475	6	LEVES	0,00%
		PESADOS	-18,73%
PP-7-PA-252	7	LEVES	0,00%
		PESADOS	-8,22%
PP-8-ALÇA VIÁRIA	8	LEVES	0,00%
		PESADOS	-6,10%
MÉDIA		LEVES	0,00%
		PESADOS	-16,02%

Figura 59: Fugas de Tráfego devido a abertura do tráfego na hidrovia e Porto em Marabá em 2026

13 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS PRAÇAS DE PEDÁGIO

13.1 MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

Uma vez definidos os locais das praças de pedágio, foram simuladas as formações de fila nas cancelas e realizada a recomendação do número de faixas de cobrança.

Como parâmetros básicos foram considerados:

- Taxa de crescimento do tráfego: conforme calculado no item 6;
- Período de concessão: 30 anos;
- Tempo médio de atendimento por cancela: 20,26 segundos;
- Uma cancela automática por sentido;
- Percentual de adesão do tráfego nas cancelas automáticas no trecho estudado: 37% (valor estimado com base em outros estudos de concessão).

Com base no volume horário de projeto (VHP) de cada um dos segmentos, foram obtidos os indicadores de Fila Média, Tempo Médio no Sistema e Nível de Serviço, que estão resumidos nas apresentadas na sequência desta seção. Os dados de entrada estão apresentados na Tabela 55.

Tabela 55: Dados de entrada para dimensionamento das cabines das praças de pedágio

Dados	
Taxa de crescimento do tráfego	2,50%
Tempo médio de atendimento (s) (cancelas convencionais)	20,26
Possui cancela automática? Se Sim (1), se não (0)	1
Percentual de adesão na cancela automática	37%

Nas tabelas seguintes estão apresentados os cálculos de Níveis de Serviço para as praças de pedágio considerando o horizonte de 30 anos de concessão.

13.1.1 Dimensionamento das Cabines

A seguir estão apresentados os dados de tempo médio na cancela por praça de pedágio, considerando 4 configurações de cabine por sentido, sempre com 1 cancela automática.

Tabela 56: Resumo do Tempo médio no sistema (segundos)

Tempos médios no sistema (segundos)				
Praça de Pedágio	1 convencional e 1 automática	2 convencionais e 1 automática	3 convencionais e 1 automática	4 convencionais e 1 automática
1	Inviável	312	54	38
2	Inviável	62	37	31
3	Inviável	83	41	33
4	Inviável	83	41	33
5	Inviável	108	44	34
6	Inviável	108	44	34
7	Inviável	Inviável	109	52
8	Inviável	Inviável	129	55

Na tabela abaixo os resultados da simulação para número médio de veículos em fila.

Tabela 57: Resumo da Fila Média (veículos)

Fila média (veículos)				
Praça de Pedágio	1 convencional e 1 automática	2 convencionais e 1 automática	3 convencionais e 1 automática	4 convencionais e 1 automática
1	Inviável	13	1	0
2	Inviável	1	0	0
3	Inviável	2	1	0
4	Inviável	2	1	0
5	Inviável	4	1	0
6	Inviável	4	1	0
7	Inviável	Inviável	4	1
8	Inviável	Inviável	5	1

Os Níveis de Serviços calculados estão disponibilizados na sequência.

Tabela 58: Resumo dos Níveis de Serviço

Níveis de Serviço				
Praça de Pedágio	1 convencional e 1 automática	2 convencionais e 1 automática	3 convencionais e 1 automática	4 convencionais e 1 automática
1	F	F	B	A
2	F	B	A	A
3	F	C	B	A
4	F	C	B	A
5	F	C	B	A
6	F	C	B	A
7	F	F	C	B
8	F	F	C	B

Por fim, a partir das análises das tabelas apresentadas, definiu-se a quantidade mínima de cancelas por sentido da rodovia. A indicação do número de faixas de cobrança por sentido está apresentada na Tabela 59 em que, além do número de cancelas convencionais, foi também levado em consideração 1 cancela automática por sentido.

Tabela 59: Indicação da quantidade de faixas de cobrança por sentido

Praça de Pedágio	Quantidade de faixas de convencionais por sentido	Quantidade de cancelas automáticas por sentido	Total de faixas de cobrança por sentido
1	3	1	4
2	3	1	4
3	3	1	4
4	3	1	4
5	3	1	4
6	3	1	4
7	2	1	3
8	3	1	4

14 PROJEÇÃO DE TRÁFEGO DURANTE A CONCESSÃO

Apresenta-se a seguir o VDMA para cada uma das praças, considerando o cenário base (praças no eixo da PA-150) durante todo horizonte de concessão, considerando a tarifa cheia de **R\$10,10**. Apesar da tarifa ótima estimada pelo modelo ser de R\$ 5,30, a tarifa que sustenta o modelo de investimentos proposto considerando o valor de R\$ 0,1535 por km de pista simples e o TCP de 65,8 km, obtendo-se a tarifa cheia mencionada anteriormente. Lembrando que:

- Ano Base (2022): Ano base para Modelo;
- Ano 0 (2023): Início da concessão, sem cobrança de pedágio;
- Ano 1 (2024): Início da cobrança de pedágio.

14.1 PROJEÇÃO DE TRÁFEGO – CENÁRIO BASE

As tabelas a seguir apresentam a projeção de tráfego para cada uma das praças de pedágio definidas.

Os valores estão em veículos para cada categoria de cobrança de pedágio, conforme Tabela 60.

Tabela 60: Categorias de Cobrança de Pedágio

CAT	TIPO DE VEÍCULO	MULTIPLICADOR DE TARIFA
CAT 01	AUTO / UTILITÁRIO	1
CAT 02	VEÍCULOS COMERCIAIS 2 EIXOS	2
CAT 03	AUTO + SEMI-REBOQUE	1,5
CAT 04	VEÍCULOS COMERCIAIS 3 EIXOS	3
CAT 05	AUTO + REBOQUES (2 EIXOS)	2
CAT 06	VEÍCULOS COMERCIAIS 4 EIXOS	4
CAT 07	VEÍCULOS COMERCIAIS 5 EIXOS	5
CAT 08	VEÍCULOS COMERCIAIS 6 EIXOS	6
CAT 09	VEÍCULOS COMERCIAIS 7 EIXOS	7
CAT 10	VEÍCULOS COMERCIAIS 8 EIXOS	8
CAT 11	VEÍCULOS COMERCIAIS 9 EIXOS	9
CAT 12	MOTOCICLETAS	0,5
CAT 13	VEÍCULOS ESPECIAIS	-

O multiplicador de tarifas para motocicletas é usualmente 0,5, mas para o modelo econômico-financeiro deste estudo as motos foram retiradas da contabilização de receita tarifária da concessão, conseqüentemente um Multiplicador de Tarifa 0 para esse tipo de veículo.

Tabela 61: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 1

Ano	Praça 1													TOTAL
	CAT 01	CAT 02	CAT 03	CAT 04	CAT 05	CAT 06	CAT 07	CAT 08	CAT 09	CAT 10	CAT 11	CAT 12	CAT 13	
2.022	1.386	197	7	279	5	50	40	171	95	6	556	0	0	2.793
2.023	1.421	202	7	287	6	52	41	175	97	6	571	0	0	2.866
2.024	1.456	208	7	295	6	53	42	180	100	6	587	0	0	2.941
2.025	1.493	214	8	303	6	55	44	185	103	6	603	0	0	3.018
2.026	1.530	220	8	311	6	56	45	190	106	6	620	0	0	3.098
2.027	1.568	226	8	320	6	58	46	195	109	7	637	0	0	3.179
2.028	1.607	232	8	329	6	59	47	201	112	7	655	0	0	3.263
2.029	1.648	238	8	338	7	61	49	206	115	7	673	0	0	3.348
2.030	1.689	245	9	347	7	62	50	212	118	7	691	0	0	3.436
2.031	1.731	252	9	357	7	64	51	218	121	7	710	0	0	3.527
2.032	1.774	258	9	366	7	66	53	224	124	8	730	0	0	3.619
2.033	1.819	266	9	376	7	68	54	230	128	8	750	0	0	3.714
2.034	1.864	273	10	387	7	70	56	236	131	8	770	0	0	3.812
2.035	1.911	280	10	397	8	72	57	243	135	8	791	0	0	3.912
2.036	1.959	288	10	408	8	74	59	249	139	8	813	0	0	4.015
2.037	2.008	296	10	420	8	76	60	256	142	9	836	0	0	4.120
2.038	2.058	304	11	431	8	78	62	263	146	9	859	0	0	4.229
2.039	2.109	312	11	443	9	80	64	271	150	9	882	0	0	4.340
2.040	2.162	321	11	455	9	82	65	278	154	9	906	0	0	4.454
2.041	2.216	330	12	468	9	84	67	286	159	10	931	0	0	4.571
2.042	2.271	339	12	481	9	87	69	293	163	10	957	0	0	4.691
2.043	2.328	348	12	494	10	89	71	302	168	10	983	0	0	4.814
2.044	2.386	358	13	507	10	91	73	310	172	10	1.010	0	0	4.941
2.045	2.446	368	13	521	10	94	75	318	177	11	1.038	0	0	5.071
2.046	2.507	378	13	536	10	96	77	327	182	11	1.067	0	0	5.204
2.047	2.570	388	14	550	11	99	79	336	187	11	1.096	0	0	5.341
2.048	2.634	399	14	565	11	102	81	345	192	12	1.126	0	0	5.482
2.049	2.700	410	14	581	11	105	84	355	197	12	1.157	0	0	5.626
2.050	2.767	421	15	597	12	107	86	365	203	12	1.189	0	0	5.774
2.051	2.837	433	15	613	12	110	88	375	208	13	1.222	0	0	5.926
2.052	2.908	445	16	630	12	113	91	385	214	13	1.255	0	0	6.081
2.053	2.980	457	16	648	13	117	93	395	220	13	1.290	0	0	6.241

Tabela 62: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 2

Ano	Praça 2													TOTAL
	CAT 01	CAT 02	CAT 03	CAT 04	CAT 05	CAT 06	CAT 07	CAT 08	CAT 09	CAT 10	CAT 11	CAT 12	CAT 13	
2.022	1.431	266	1	233	2	43	53	171	77	5	439	0	0	2.722
2.023	1.467	273	1	239	2	44	54	176	79	5	451	0	0	2.793
2.024	1.504	281	1	246	2	45	56	181	81	5	464	0	0	2.866
2.025	1.541	288	1	253	2	46	57	186	84	5	476	0	0	2.941
2.026	1.580	296	1	260	2	48	59	191	86	5	489	0	0	3.018
2.027	1.619	305	2	267	2	49	61	196	88	6	503	0	0	3.097
2.028	1.660	313	2	274	2	50	62	202	91	6	517	0	0	3.178
2.029	1.701	322	2	282	2	52	64	207	93	6	531	0	0	3.262
2.030	1.744	330	2	290	2	53	66	213	96	6	546	0	0	3.347
2.031	1.788	339	2	297	2	55	68	219	99	6	561	0	0	3.435
2.032	1.832	349	2	306	2	56	69	225	101	6	576	0	0	3.525
2.033	1.878	358	2	314	2	58	71	231	104	6	592	0	0	3.617
2.034	1.925	368	2	323	2	59	73	237	107	7	608	0	0	3.712
2.035	1.973	378	2	332	3	61	75	244	110	7	625	0	0	3.809
2.036	2.023	389	2	341	3	63	77	251	113	7	642	0	0	3.909
2.037	2.073	399	2	350	3	64	79	258	116	7	660	0	0	4.011
2.038	2.125	410	2	360	3	66	82	265	119	7	678	0	0	4.117
2.039	2.178	422	2	370	3	68	84	272	122	8	696	0	0	4.224
2.040	2.232	433	2	380	3	70	86	279	126	8	716	0	0	4.335
2.041	2.288	445	2	390	3	72	89	287	129	8	735	0	0	4.449
2.042	2.346	458	2	401	3	74	91	295	133	8	755	0	0	4.565
2.043	2.404	470	2	412	3	76	94	303	136	9	776	0	0	4.685
2.044	2.464	483	2	423	3	78	96	311	140	9	798	0	0	4.808
2.045	2.526	496	2	435	3	80	99	320	144	9	820	0	0	4.934
2.046	2.589	510	3	447	3	82	101	329	148	9	842	0	0	5.063
2.047	2.654	524	3	459	4	84	104	338	152	9	865	0	0	5.196
2.048	2.720	538	3	472	4	87	107	347	156	10	889	0	0	5.332
2.049	2.788	553	3	485	4	89	110	357	161	10	913	0	0	5.472
2.050	2.858	568	3	498	4	91	113	367	165	10	939	0	0	5.616
2.051	2.929	584	3	512	4	94	116	377	169	11	964	0	0	5.763
2.052	3.002	600	3	526	4	96	119	387	174	11	991	0	0	5.914
2.053	3.078	617	3	540	4	99	123	398	179	11	1.018	0	0	6.069

Tabela 63: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 3

Ano	Praça 3													TOTAL
	CAT 01	CAT 02	CAT 03	CAT 04	CAT 05	CAT 06	CAT 07	CAT 08	CAT 09	CAT 10	CAT 11	CAT 12	CAT 13	
2.022	1.754	381	0	324	0	54	50	210	110	7	483	0	0	3.374
2.023	1.798	392	0	333	0	55	51	216	113	7	497	0	0	3.462
2.024	1.843	402	0	342	0	57	52	222	116	7	510	0	0	3.553
2.025	1.889	413	0	352	0	58	54	228	120	7	524	0	0	3.646
2.026	1.937	425	0	361	0	60	55	234	123	8	539	0	0	3.741
2.027	1.985	436	0	371	0	61	57	241	126	8	554	0	0	3.839
2.028	2.035	448	0	382	0	63	59	247	130	8	569	0	0	3.940
2.029	2.085	461	0	392	0	65	60	254	133	8	584	0	0	4.043
2.030	2.138	473	0	403	0	67	62	261	137	8	601	0	0	4.149
2.031	2.191	486	0	414	0	68	63	268	141	9	617	0	0	4.258
2.032	2.246	500	0	425	0	70	65	276	145	9	634	0	0	4.370
2.033	2.302	514	0	437	0	72	67	283	149	9	651	0	0	4.484
2.034	2.359	528	0	449	0	74	69	291	153	9	669	0	0	4.602
2.035	2.418	542	0	461	0	76	71	299	157	10	688	0	0	4.722
2.036	2.479	557	0	474	0	78	73	307	161	10	707	0	0	4.846
2.037	2.541	572	0	487	0	80	75	316	166	10	726	0	0	4.973
2.038	2.604	588	0	501	0	83	77	324	170	10	746	0	0	5.104
2.039	2.670	604	0	514	0	85	79	333	175	11	767	0	0	5.238
2.040	2.736	621	0	528	0	87	81	342	180	11	788	0	0	5.375
2.041	2.805	638	0	543	0	90	83	352	185	11	809	0	0	5.516
2.042	2.875	656	0	558	0	92	86	361	190	12	832	0	0	5.661
2.043	2.947	674	0	573	0	95	88	371	195	12	855	0	0	5.809
2.044	3.020	692	0	589	0	97	90	382	200	12	878	0	0	5.961
2.045	3.096	711	0	605	0	100	93	392	206	13	902	0	0	6.118
2.046	3.173	731	0	622	0	103	95	403	212	13	927	0	0	6.278
2.047	3.253	751	0	639	0	106	98	414	217	13	952	0	0	6.443
2.048	3.334	771	0	657	0	108	101	425	223	14	979	0	0	6.612
2.049	3.417	793	0	675	0	111	103	437	230	14	1.006	0	0	6.786
2.050	3.503	815	0	693	0	114	106	449	236	14	1.033	0	0	6.964
2.051	3.590	837	0	712	0	118	109	461	242	15	1.062	0	0	7.146
2.052	3.680	860	0	732	0	121	112	474	249	15	1.091	0	0	7.334
2.053	3.772	884	0	752	0	124	115	487	256	16	1.121	0	0	7.526

Tabela 64: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 4

Ano	Praça 4													TOTAL
	CAT 01	CAT 02	CAT 03	CAT 04	CAT 05	CAT 06	CAT 07	CAT 08	CAT 09	CAT 10	CAT 11	CAT 12	CAT 13	
2.022	1.751	336	0	374	0	43	48	217	135	4	485	0	0	3.394
2.023	1.795	346	0	384	0	44	49	223	138	4	498	0	0	3.483
2.024	1.840	355	0	395	0	46	51	230	142	4	512	0	0	3.574
2.025	1.886	365	0	405	0	47	52	236	146	5	526	0	0	3.668
2.026	1.933	375	0	417	0	48	54	242	150	5	541	0	0	3.764
2.027	1.981	385	0	428	0	50	55	249	154	5	555	0	0	3.863
2.028	2.031	396	0	440	0	51	57	256	159	5	571	0	0	3.964
2.029	2.081	407	0	452	0	52	58	263	163	5	586	0	0	4.068
2.030	2.133	418	0	464	0	54	60	270	167	5	603	0	0	4.175
2.031	2.187	430	0	477	0	55	61	278	172	5	619	0	0	4.284
2.032	2.241	441	0	490	0	57	63	285	177	5	636	0	0	4.396
2.033	2.297	453	0	504	0	58	65	293	182	6	654	0	0	4.512
2.034	2.355	466	0	517	0	60	67	301	187	6	672	0	0	4.630
2.035	2.414	479	0	532	0	62	68	309	192	6	690	0	0	4.751
2.036	2.474	492	0	546	0	63	70	318	197	6	709	0	0	4.876
2.037	2.536	505	0	561	0	65	72	327	202	6	729	0	0	5.004
2.038	2.599	519	0	577	0	67	74	336	208	6	749	0	0	5.135
2.039	2.664	534	0	593	0	69	76	345	214	7	769	0	0	5.270
2.040	2.731	548	0	609	0	71	78	354	220	7	790	0	0	5.408
2.041	2.799	563	0	626	0	73	81	364	226	7	812	0	0	5.550
2.042	2.869	579	0	643	0	74	83	374	232	7	834	0	0	5.696
2.043	2.941	595	0	661	0	77	85	384	238	7	857	0	0	5.845
2.044	3.014	611	0	679	0	79	87	395	245	8	881	0	0	5.999
2.045	3.090	628	0	697	0	81	90	406	251	8	905	0	0	6.156
2.046	3.167	645	0	717	0	83	92	417	258	8	930	0	0	6.318
2.047	3.246	663	0	736	0	85	95	429	265	8	956	0	0	6.483
2.048	3.327	681	0	757	0	88	97	440	273	8	982	0	0	6.654
2.049	3.411	700	0	777	0	90	100	452	280	9	1.009	0	0	6.828
2.050	3.496	719	0	799	0	93	103	465	288	9	1.037	0	0	7.008
2.051	3.583	739	0	821	0	95	106	478	296	9	1.065	0	0	7.192
2.052	3.673	759	0	843	0	98	109	491	304	9	1.094	0	0	7.380
2.053	3.765	780	0	866	0	100	112	504	312	10	1.125	0	0	7.574

Tabela 65: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 5

Ano	Praça 5													TOTAL
	CAT 01	CAT 02	CAT 03	CAT 04	CAT 05	CAT 06	CAT 07	CAT 08	CAT 09	CAT 10	CAT 11	CAT 12	CAT 13	
2.022	1.471	348	0	387	0	45	50	225	139	3	502	0	0	3.170
2.023	1.508	358	0	397	0	46	51	231	143	3	516	0	0	3.253
2.024	1.545	367	0	408	0	47	53	238	147	4	530	0	0	3.339
2.025	1.584	378	0	419	0	49	54	244	151	4	544	0	0	3.427
2.026	1.624	388	0	431	0	50	55	251	155	4	559	0	0	3.517
2.027	1.664	399	0	443	0	51	57	258	160	4	575	0	0	3.610
2.028	1.706	410	0	455	0	53	59	265	164	4	590	0	0	3.705
2.029	1.748	421	0	467	0	54	60	272	169	4	607	0	0	3.802
2.030	1.792	432	0	480	0	56	62	280	173	4	623	0	0	3.903
2.031	1.837	444	0	493	0	57	64	287	178	4	640	0	0	4.005
2.032	1.883	457	0	507	0	59	65	295	183	4	658	0	0	4.111
2.033	1.930	469	0	521	0	60	67	303	188	5	676	0	0	4.219
2.034	1.978	482	0	535	0	62	69	312	193	5	695	0	0	4.330
2.035	2.028	495	0	550	0	64	71	320	198	5	714	0	0	4.445
2.036	2.078	509	0	565	0	65	73	329	204	5	733	0	0	4.562
2.037	2.130	523	0	581	0	67	75	338	209	5	754	0	0	4.682
2.038	2.184	537	0	597	0	69	77	347	215	5	774	0	0	4.805
2.039	2.238	552	0	613	0	71	79	357	221	5	796	0	0	4.932
2.040	2.294	567	0	630	0	73	81	367	227	5	818	0	0	5.062
2.041	2.351	583	0	647	0	75	83	377	233	6	840	0	0	5.196
2.042	2.410	599	0	665	0	77	86	387	240	6	863	0	0	5.333
2.043	2.471	615	0	683	0	79	88	398	246	6	887	0	0	5.473
2.044	2.532	632	0	702	0	81	90	409	253	6	911	0	0	5.618
2.045	2.596	650	0	721	0	84	93	420	260	6	936	0	0	5.766
2.046	2.661	667	0	741	0	86	95	431	267	6	962	0	0	5.918
2.047	2.727	686	0	762	0	88	98	443	275	7	989	0	0	6.074
2.048	2.795	705	0	783	0	91	101	455	282	7	1.016	0	0	6.234
2.049	2.865	724	0	804	0	93	104	468	290	7	1.044	0	0	6.399
2.050	2.937	744	0	826	0	96	106	481	298	7	1.072	0	0	6.567
2.051	3.010	764	0	849	0	98	109	494	306	7	1.102	0	0	6.741
2.052	3.085	785	0	872	0	101	112	508	314	8	1.132	0	0	6.918
2.053	3.162	807	0	896	0	104	115	522	323	8	1.163	0	0	7.101

Tabela 66: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 6

Ano	Praça 6													TOTAL
	CAT 01	CAT 02	CAT 03	CAT 04	CAT 05	CAT 06	CAT 07	CAT 08	CAT 09	CAT 10	CAT 11	CAT 12	CAT 13	
2.022	1.191	418	0	237	0	78	111	187	160	6	523	0	0	2.912
2.023	1.221	430	0	243	0	80	114	193	165	6	538	0	0	2.989
2.024	1.251	442	0	250	0	83	117	198	169	6	553	0	0	3.068
2.025	1.282	454	0	257	0	85	120	203	174	6	568	0	0	3.149
2.026	1.314	466	0	264	0	87	124	209	178	6	583	0	0	3.233
2.027	1.347	479	0	271	0	90	127	215	183	7	599	0	0	3.318
2.028	1.381	492	0	279	0	92	131	221	188	7	616	0	0	3.406
2.029	1.416	506	0	286	0	94	134	227	194	7	633	0	0	3.496
2.030	1.451	520	0	294	0	97	138	233	199	7	650	0	0	3.589
2.031	1.487	534	0	302	0	100	142	239	204	7	668	0	0	3.684
2.032	1.524	549	0	310	0	103	146	246	210	8	686	0	0	3.782
2.033	1.562	564	0	319	0	105	150	253	216	8	705	0	0	3.882
2.034	1.602	579	0	328	0	108	154	260	222	8	725	0	0	3.985
2.035	1.642	595	0	337	0	111	158	267	228	8	745	0	0	4.090
2.036	1.683	612	0	346	0	114	162	274	234	8	765	0	0	4.199
2.037	1.725	629	0	356	0	117	167	282	241	9	786	0	0	4.310
2.038	1.768	646	0	365	0	121	171	289	247	9	808	0	0	4.424
2.039	1.812	664	0	375	0	124	176	297	254	9	830	0	0	4.541
2.040	1.857	682	0	386	0	127	181	305	261	9	853	0	0	4.662
2.041	1.904	701	0	396	0	131	186	314	268	10	876	0	0	4.785
2.042	1.951	720	0	407	0	134	191	322	275	10	900	0	0	4.912
2.043	2.000	740	0	418	0	138	196	331	283	10	925	0	0	5.042
2.044	2.050	760	0	430	0	142	201	340	291	10	951	0	0	5.176
2.045	2.101	781	0	442	0	146	207	350	299	11	977	0	0	5.313
2.046	2.154	802	0	454	0	150	213	359	307	11	1.004	0	0	5.454
2.047	2.208	824	0	466	0	154	219	369	316	11	1.031	0	0	5.599
2.048	2.263	847	0	479	0	158	225	379	324	12	1.060	0	0	5.747
2.049	2.320	870	0	492	0	163	231	390	333	12	1.089	0	0	5.899
2.050	2.378	894	0	506	0	167	237	401	342	12	1.119	0	0	6.056
2.051	2.437	919	0	520	0	172	244	412	352	13	1.149	0	0	6.217
2.052	2.498	944	0	534	0	176	250	423	361	13	1.181	0	0	6.381
2.053	2.560	970	0	549	0	181	257	435	371	13	1.213	0	0	6.551

Tabela 67: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 7

Ano	Praça 7													TOTAL
	CAT 01	CAT 02	CAT 03	CAT 04	CAT 05	CAT 06	CAT 07	CAT 08	CAT 09	CAT 10	CAT 11	CAT 12	CAT 13	
2.022	3.275	623	3	304	0	47	42	167	104	4	429	0	0	4.996
2.023	3.357	640	3	312	0	48	43	171	106	4	441	0	0	5.126
2.024	3.441	657	3	321	0	50	44	176	109	4	453	0	0	5.258
2.025	3.527	675	3	330	0	51	45	181	112	4	466	0	0	5.394
2.026	3.615	694	3	339	0	53	46	186	115	4	478	0	0	5.534
2.027	3.705	713	3	348	0	54	48	191	119	4	492	0	0	5.677
2.028	3.798	733	3	358	0	55	49	196	122	5	505	0	0	5.824
2.029	3.893	753	3	368	0	57	50	202	125	5	519	0	0	5.974
2.030	3.990	774	3	378	0	59	52	207	129	5	533	0	0	6.129
2.031	4.090	795	3	388	0	60	53	213	132	5	548	0	0	6.288
2.032	4.192	817	3	399	0	62	55	219	136	5	563	0	0	6.450
2.033	4.297	839	4	410	0	64	56	225	140	5	578	0	0	6.617
2.034	4.404	862	4	421	0	65	58	231	143	5	594	0	0	6.788
2.035	4.515	886	4	433	0	67	59	237	147	5	611	0	0	6.964
2.036	4.627	910	4	445	0	69	61	244	151	6	627	0	0	7.144
2.037	4.743	935	4	457	0	71	62	251	156	6	645	0	0	7.329
2.038	4.862	961	4	469	0	73	64	258	160	6	662	0	0	7.519
2.039	4.983	987	4	482	0	75	66	265	164	6	681	0	0	7.713
2.040	5.108	1.015	4	496	0	77	68	272	169	6	699	0	0	7.913
2.041	5.236	1.042	4	509	0	79	70	279	173	6	719	0	0	8.118
2.042	5.366	1.071	5	523	0	81	72	287	178	7	738	0	0	8.328
2.043	5.501	1.101	5	538	0	83	73	295	183	7	759	0	0	8.544
2.044	5.638	1.131	5	552	0	86	76	303	188	7	780	0	0	8.765
2.045	5.779	1.162	5	568	0	88	78	311	193	7	801	0	0	8.992
2.046	5.924	1.194	5	583	0	90	80	320	199	7	823	0	0	9.225
2.047	6.072	1.227	5	599	0	93	82	329	204	8	846	0	0	9.464
2.048	6.223	1.260	5	616	0	95	84	338	210	8	869	0	0	9.709
2.049	6.379	1.295	5	633	0	98	86	347	215	8	893	0	0	9.960
2.050	6.538	1.331	6	650	0	101	89	357	221	8	917	0	0	10.218
2.051	6.702	1.367	6	668	0	104	91	366	227	8	943	0	0	10.483
2.052	6.869	1.405	6	686	0	106	94	377	234	9	968	0	0	10.754
2.053	7.041	1.444	6	705	0	109	96	387	240	9	995	0	0	11.033

Tabela 68: VMDA projetado cenário base – Praça de Pedágio 8

Ano	Praça 8													TOTAL
	CAT 01	CAT 02	CAT 03	CAT 04	CAT 05	CAT 06	CAT 07	CAT 08	CAT 09	CAT 10	CAT 11	CAT 12	CAT 13	
2.022	4.039	516	10	363	17	81	84	334	98	5	206	0	0	5.752
2.023	4.140	531	11	373	17	84	86	343	100	5	212	0	0	5.901
2.024	4.243	545	11	383	18	86	88	353	103	5	218	0	0	6.052
2.025	4.349	560	11	394	18	88	91	362	106	5	224	0	0	6.208
2.026	4.458	576	12	404	19	91	93	372	109	5	230	0	0	6.368
2.027	4.569	591	12	416	19	93	96	383	112	5	236	0	0	6.532
2.028	4.684	608	12	427	20	96	98	393	115	5	243	0	0	6.700
2.029	4.801	624	13	439	20	98	101	404	118	5	249	0	0	6.873
2.030	4.921	642	13	451	21	101	104	415	121	6	256	0	0	7.050
2.031	5.044	659	13	463	22	104	107	427	124	6	263	0	0	7.232
2.032	5.170	677	14	476	22	107	110	438	128	6	270	0	0	7.418
2.033	5.299	696	14	489	23	110	113	450	131	6	278	0	0	7.609
2.034	5.431	715	15	502	23	113	116	463	135	6	285	0	0	7.805
2.035	5.567	735	15	516	24	116	119	475	139	6	293	0	0	8.006
2.036	5.706	755	15	530	25	119	122	489	143	7	301	0	0	8.212
2.037	5.849	776	16	545	25	122	126	502	146	7	310	0	0	8.424
2.038	5.995	797	16	560	26	125	129	516	150	7	318	0	0	8.641
2.039	6.145	819	17	575	27	129	133	530	155	7	327	0	0	8.863
2.040	6.299	842	17	591	28	132	136	545	159	7	336	0	0	9.092
2.041	6.456	865	18	608	28	136	140	560	163	8	345	0	0	9.326
2.042	6.618	888	18	624	29	140	144	575	168	8	355	0	0	9.566
2.043	6.783	913	19	641	30	144	148	591	172	8	364	0	0	9.813
2.044	6.953	938	19	659	31	148	152	607	177	8	374	0	0	10.066
2.045	7.127	964	20	677	32	152	156	624	182	8	385	0	0	10.325
2.046	7.305	990	20	696	32	156	160	641	187	9	395	0	0	10.591
2.047	7.487	1.018	21	715	33	160	165	658	192	9	406	0	0	10.864
2.048	7.675	1.046	21	735	34	165	169	677	197	9	417	0	0	11.144
2.049	7.866	1.074	22	755	35	169	174	695	203	9	429	0	0	11.432
2.050	8.063	1.104	22	776	36	174	179	714	208	10	441	0	0	11.726
2.051	8.265	1.134	23	797	37	178	184	734	214	10	453	0	0	12.029
2.052	8.471	1.165	24	819	38	183	189	754	220	10	465	0	0	12.339
2.053	8.683	1.197	24	841	39	188	194	775	226	10	478	0	0	12.657

14.2 ESTIMATIVA DE RECEITA

Neste capítulo é apresentada a estimativa de receita gerada pela concessão das vias em 30 anos. Os valores estão acumulados a partir de 2024, ano de início da cobrança das tarifas. A seção seguinte apresenta a metodologia para cálculo e projeção da receita ao longo dos anos de concessão.

14.2.1 Metodologia para Projeção de Receita

A receita é um dado de entrada para o modelo econômico-financeiro, que considera também os investimentos para trabalhos iniciais, recuperação, aumento de capacidade, infraestrutura e afins, todos importantes insumos financeiros para se estudar a concessão do lote.

Basicamente para se estimar a receita de tráfego é necessário segregar o VMDA em VMDA por categoria de veículos, os quais ao passar pelas praças de pedágio pagam a tarifa que é multiplicada pelos valores multiplicadores de tarifa e, portanto, convertidos em VEQ (veículos em eixos equivalentes).

Após a transformação do volume de tráfego para veículos em eixo equivalentes, que passa por uma determinada praça de pedágio qualquer, aplica-se a fórmula de receita, dado por:

$$Receita_{Ano\ i} = Tarifa_p \times Veq_p$$

Onde:

$Receita_{Ano\ i}$: Receita obtida na praça de pedágio “x” para o ano “i”;

$Tarifa_p$: Tarifa praticada na praça de pedágio “x”

Veq_p : Volume em eixos equivalentes no ano “i”

Assim é obtida, portanto, a receita de cada praça de pedágio. Ao final soma-se a receita gerada no ano “i” de cada praça de pedágio para se chegar à receita anual.

A tarifa base considerada nas projeções é a de R\$ 10,10.

Tabela 69: Estimativa de Receita durante a concessão – Cenário Base

Ano	Receita	Marco
2.024	R\$ 257.873.160,81	Cobrança de Pedágio
2.025	R\$ 264.426.133,26	
2.026	R\$ 271.447.237,36	
2.027	R\$ 278.651.796,96	
2.028	R\$ 286.044.426,41	
2.029	R\$ 293.629.847,21	
2.030	R\$ 301.412.888,95	
2.031	R\$ 309.398.489,19	
2.032	R\$ 317.591.694,69	
2.033	R\$ 325.997.670,04	
2.034	R\$ 334.621.689,29	
2.035	R\$ 343.469.146,43	
2.036	R\$ 352.545.551,37	
2.037	R\$ 361.856.534,76	
2.038	R\$ 371.407.845,36	
2.039	R\$ 381.205.359,05	
2.040	R\$ 391.255.072,43	
2.041	R\$ 401.563.107,51	
2.042	R\$ 412.135.716,39	
2.043	R\$ 422.979.273,85	
2.044	R\$ 434.100.289,18	
2.045	R\$ 445.505.399,39	
2.046	R\$ 457.201.372,71	
2.047	R\$ 469.195.110,06	
2.048	R\$ 481.493.645,66	
2.049	R\$ 494.104.144,33	
2.050	R\$ 507.033.909,52	
2.051	R\$ 520.290.375,50	
2.052	R\$ 533.881.110,83	
Total	R\$ 11.022.317.998,47	

Verifica-se que a receita estimada é da ordem de R\$ 11 bilhões até o fim da concessão (2052 - 30 anos) considerando que a abertura do pedágio seria só em 2024.

15 CÁLCULO DOS NÍVEIS DE SERVIÇO

Conforme já explanado as rodovias em questão foram divididas em subtrechos de acordo com as características, acessos, relevo. Para determinar a qualidade de operação, de acordo com a metodologia explanada anteriormente, identificou-se os parâmetros de cada trecho como número de acessos por km, percentual de não ultrapassagem, classe da rodovia, largura da seção e do acostamento, VHP, etc.

Sendo assim, foi possível diagnosticar o nível de serviço de cada subtrecho para o cenário atual e cenários futuros utilizando o volume da 50ª maior hora.

Este volume foi baseado no valor K obtido por médio dos dados de tráfego do DNIT.

15.1 NÍVEIS DE SERVIÇO DURANTE A CONCESSÃO

De acordo com a metodologia empregada para cálculos de Nível de Serviço de pistas simples, são apresentados os resultados das análises para o horizonte da concessão.

Os dados foram utilizados no cálculo do nível de serviço. Também foi necessário aplicar a taxa de crescimento para cada ano de concessão conforme apresentado anteriormente.

15.1.1 Patamares de Nível de Serviço

Os parâmetros de entrada para processamento do cálculo do nível de serviço foram verificados para cada subtrecho, considerando os sentidos crescente(C) e decrescente(D) e estão apresentados na Tabela 70.

Tabela 70: Parâmetros utilizados para o cálculo dos patamares de Nível de Serviço HCM

SEGMENTO HOMOGENEO	RODOVIA	KM INICIAL	KM FINAL	SENTIDO	FATOR K	VELOCIDADE FLUXO LIVRE (KM/H)	CLASSE DA ROD.	TERRENO
SH 1	PA-150	0,00	1,30	C	0,0997	88	I	Plano
				D	0,0985	88	I	Plano
SH 2	PA-150	1,30	33,60	C	0,0997	88	I	Ondulado
				D	0,0985	88	I	Ondulado
SH 3	PA-150	33,60	35,00	C	0,0997	88	I	Ondulado
				D	0,0985	88	I	Ondulado
SH 4	PA-150	35,00	87,00	C	0,0997	88	I	Ondulado
				D	0,0985	88	I	Ondulado
SH 5	PA-150	87,00	91,40	C	0,0997	88	I	Ondulado
				D	0,0985	88	I	Ondulado
SH 6	PA-150	91,40	159,00	C	0,0997	88	I	Ondulado

SEGMENTO HOMOGENEO	RODOVIA	KM INICIAL	KM FINAL	SENTIDO	FATOR K	VELOCIDADE FLUXO LIVRE (KM/H)	CLASSE DA ROD.	TERRENO
				D	0,0985	88	I	Ondulado
SH 7	PA-150	159,00	164,80	C	0,0997	88	I	Ondulado
				D	0,0985	88	I	Ondulado
SH 8	PA-150	164,80	267,40	C	0,0997	88	I	Ondulado
				D	0,0985	88	I	Ondulado
SH 9	PA-150	267,40	271,90	C	0,0997	88	I	Ondulado
				D	0,0985	88	I	Ondulado
SH 10	PA-150	271,90	333,00	C	0,0997	88	I	Ondulado
				D	0,0985	88	I	Ondulado
SH 11	PA-475	0,00	41,60	C	0,0997	88	I	Ondulado
				D	0,0985	88	I	Ondulado
SH 12	PA-252	0,00	25,70	C	0,0997	88	I	Ondulado
				D	0,0985	88	I	Ondulado
SH 13	PA-252	25,70	27,00	C	0,0997	88	I	Plano
				D	0,0985	88	I	Plano
SH 14	PA-252	27,00	41,40	C	0,0997	88	I	Plano
				D	0,0985	88	I	Plano
SH 15	PA-151	0,00	21,50	C	0,0997	88	I	Plano
				D	0,0985	88	I	Plano
SH 16	PA-483	0,00	3,00	C	0,0985	88	I	Plano
				D	0,0985	88	I	Plano
SH 17	PA-483	3,00	18,60	C	0,0985	88	I	Plano
				D	0,0985	88	I	Plano
SH 18	ALÇA VIÁRIA	0,00	67,50	C	0,0985	88	I	Plano
				D	0,0985	88	I	Plano
SH 19	ALÇA VIÁRIA	67,50	69,40	C	0,0997	88	I	Plano
				D	0,0985	88	I	Plano

15.1.2 Nível de Serviço para o horizonte de concessão da rodovia

A partir dos resultados apresentados no item anterior, obteve-se os seguintes resultados de Nível de Serviço para os trechos ora em análise.

Antes, é importante destacar que será permitido até 50 horas em nível de serviço 'E', superando isto, deve-se prever aumento de capacidade, com terceiras faixas ou ampliação da capacidade por multifaixas.

Pela análise de nível de serviço HCM verificou-se que os segmentos da Alça Viária (os trechos 18 e 19) dos atingem o nível de Serviço 'E', todos demais trechos permanecem até NS 'D'.

15.1.3 Gatilhos de Ampliação de Capacidade

Conforme mencionado, será permitido até 50 horas em nível de serviço 'E', portanto as obras de 3^{as} faixas previstas no caderno de ampliação de capacidade não foram gatilhadas por meio do nível de serviço, mas sim para atender os parâmetros geométricos de extensão de rampa do DNIT e consequentemente melhorar o conforme e a fluidez, o que naturalmente impactará positivamente no nível de serviço.



Tabela 72: Locais de Implantação de 3ª Faixa na PA-150 - Norte

Implantação de 3ª faixa na Rodovia PA-150								
PA -150 (SENTIDO NORTE)								
RODOVIA	SH	Km INÍCIO	Km FIM	EXTENSÃO (Km)	LADO	COORDENADAS		MELHORIA
						Km INÍCIO	Km FIM	
PA - 150	2	4,22	4,99	0,770	D	-5,173964	-5,167233	3ª FAIXA
						-49,045325	-49,046119	
PA - 150	2	7,79	8,05	0,260	D	-5,142031	-5,046150	3ª FAIXA
						-49,048815	-49,065315	
PA - 150	2	10,93	11,35	0,420	D	-5,116171	-5,112971	3ª FAIXA
						-49,056027	-49,058166	
PA - 150	2	11,80	11,99	0,190	D	-5,109545	-5,161660	3ª FAIXA
						-49,060421	-49,028059	
PA - 150	2	12,97	13,18	0,210	D	-5,100703	-5,099179	3ª FAIXA
						-49,066232	-49,067294	
PA - 150	2	22,45	22,82	0,370	D	-5,003211	-5,018332	3ª FAIXA
						-49,074236	-49,078399	
PA - 150	2	24,66	24,97	0,310	D	-5,001721	-4,998768	3ª FAIXA
						-49,077080	-49,076692	
PA - 150	2	25,45	25,70	0,250	D	-4,994652	-4,992422	3ª FAIXA
						-49,076139	-49,075866	
PA - 150	2	26,13	26,46	0,330	D	-4,988059	-4,985727	3ª FAIXA
						-49,075538	-49,074982	
PA - 150	4	42,17	42,46	0,290	D	-4,849041	-4,846442	3ª FAIXA
						-49,052690	-49,053130	
PA - 150	4	43,19	43,43	0,240	D	-4,840039	-4,837889	3ª FAIXA
						-49,054276	-49,054626	
PA - 150	4	45,59	46,14	0,550	D	-4,819484	-4,819649	3ª FAIXA
						-49,059955	-49,062835	
PA - 150	4	47,59	47,91	0,320	D	-4,801868	-4,797074	3ª FAIXA
						-49,063888	-49,064299	
PA - 150	4	48,52	48,77	0,250	D	-4,793368	-4,791299	3ª FAIXA
						-49,064285	-49,064375	
PA - 150	4	49,00	49,26	0,260	D	-4,789072	-4,786723	3ª FAIXA
						-49,064481	-49,064542	
PA - 150	4	53,49	54,11	0,620	D	-4,748534	-4,752489	3ª FAIXA
						-49,066169	-49,056044	
PA - 150	4	54,84	55,24	0,400	D	-4,748568	-4,734483	3ª FAIXA
						-49,059218	-49,072136	
PA - 150	4	57,75	58,17	0,420	D	-4,713235	-4,692623	3ª FAIXA
						-49,078249	-49,072952	
PA - 150	4	61,43	61,85	0,420	D	-4,681504	-4,678463	3ª FAIXA
						-49,079763	-49,081605	
PA - 150	4	66,45	66,78	0,330	D	-4,641526	-4,638878	3ª FAIXA
						-49,095777	-49,096505	
PA - 150	4	69,41	70,07	0,660	D	-4,615807	-4,609596	3ª FAIXA
						-49,103191	-49,102966	
PA - 150	4	71,05	71,55	0,500	D	-4,600939	-4,597170	3ª FAIXA
						-49,100245	-49,100173	
PA - 150	4	72,77	73,20	0,430	D	-4,585764	-4,582559	3ª FAIXA
						-49,101416	-49,101800	
PA - 150	4	73,52	74,32	0,800	D	-4,579448	-4,572305	3ª FAIXA
						-49,102075	-49,101020	
PA - 150	4	76,22	76,94	0,720	D	-4,556078	-4,549902	3ª FAIXA
						-49,095526	-49,093733	
PA - 150	4	81,15	81,85	0,700	D	-4,513480	-4,504946	3ª FAIXA
						-49,094428	-49,100372	

Tabela 73: Locais de Implantação de 3ª Faixa na PA-150 - Sul

Implantação de 3ª faixa na Rodovia PA-150								
PA -150 (SENTIDO SUL)								
RODOVIA	SH	Km FIM	Km INÍCIO	EXTENSÃO (Km)	LADO	COORDENADAS		MELHORIA
						Km INÍCIO	Km FIM	
PA - 150	2	25,62	25,88	0,260	E	-4,950081	-4,993015	3ª FAIXA
						-49,089663	-49,075962	
PA - 150	4	48,76	48,95	0,190	E	-4,789544	-4,814583	3ª FAIXA
						-49,064458	-49,069566	
PA - 150	4	57,95	58,30	0,350	E	-4,708325	-4,711287	3ª FAIXA
						-49,076636	-49,077625	
PA - 150	4	61,89	62,27	0,380	E	-4,675773	-4,681496	3ª FAIXA
						-49,084292	-49,080407	
PA - 150	4	80,26	81,02	0,760	E	-4,514219	-4,520345	3ª FAIXA
						-49,094087	-49,091547	
PA - 150	4	83,02	83,26	0,240	E	-4,496196	-4,498281	3ª FAIXA
						-49,103158	-49,102247	
PA - 150	6	95,00	95,33	0,330	E	-4,391994	-4,394710	3ª FAIXA
						-49,111309	-49,110647	
PA - 150	6	102,55	102,98	0,430	E	-4,300521	-4,335402	3ª FAIXA
						-49,084860	-49,080504	
PA - 150	6	110,53	110,91	0,380	E	-4,264462	-4,267248	3ª FAIXA
						-49,062239	-49,063158	
PA - 150	6	118,62	119,26	0,640	E	-4,185603	-4,209250	3ª FAIXA
						-49,067993	-49,056674	
PA - 150	6	119,78	120,06	0,280	E	-4,187476	-4,189983	3ª FAIXA
						-49,062731	-49,062686	
PA - 150	6	126,47	127,32	0,850	E	-4,125179	-4,142131	3ª FAIXA
						-49,045971	-49,047393	
PA - 150	6	128,38	128,95	0,570	E	-4,110424	-4,115744	3ª FAIXA
						-49,046529	-49,046320	
PA - 150	6	133,30	134,36	1,060	E	-4,063654	-4,072520	3ª FAIXA
						-49,049618	-49,047539	
PA - 150	6	135,42	136,08	0,660	E	-4,048618	-4,054282	3ª FAIXA
						-49,048690	-49,048866	
PA - 150	6	137,46	138,05	0,590	E	-4,032264	-4,037102	3ª FAIXA
						-49,044336	-49,046586	
PA - 150	6	139,74	140,11	0,370	E	-4,014353	-4,002917	3ª FAIXA
						-49,046441	-49,053446	
PA - 150	6	142,25	144,40	2,150	E	-3,977164	-3,995649	3ª FAIXA
						-49,053575	-49,049255	
PA - 150	6	146,54	146,96	0,420	E	-3,954821	-3,958808	3ª FAIXA
						-49,055598	-49,055475	
PA - 150	6	152,43	152,88	0,450	E	-3,900450	-3,909278	3ª FAIXA
						-49,082835	-49,066732	
PA - 150	6	156,03	156,39	0,360	E	-3,880184	-3,878685	3ª FAIXA
						-49,085721	-49,089582	
PA - 150	6	157,25	157,82	0,570	E	-3,870833	-3,882418	3ª FAIXA
						-49,093823	-49,085257	
PA - 150	8	170,19	170,59	0,400	E	-3,760922	-3,759854	3ª FAIXA
						-49,081568	-49,084143	
PA - 150	8	173,94	174,52	0,580	E	-3,736786	-3,742315	3ª FAIXA
						-49,091969	-49,091418	
PA - 150	8	178,96	179,19	0,230	E	-3,697737	-3,690450	3ª FAIXA
						-49,082797	-49,088529	
PA - 150	8	185,75	186,23	0,480	E	-3,637072	-3,644938	3ª FAIXA
						-49,065459	-49,068471	
PA - 150	8	243,41	243,65	0,240	E	-3,165840	-3,167760	3ª FAIXA
						-48,957772	-48,957912	
PA - 150	8	244,48	245,15	0,670	E	-3,152201	-3,158057	3ª FAIXA
						-48,955231	-48,956757	
PA - 150	8	247,95	248,35	0,400	E	-3,120700	-3,128337	3ª FAIXA
						-48,951974	-48,948327	

Tabela 74: Locais de Implantação de 3ª Faixa na Alça Viária - Norte

Implantação de 3ª faixa na Alça Viária								
ALÇA VIÁRIA (SENTIDO NORTE)								
RODOVIA	SH	Km INÍCIO	Km FIM	EXTENSÃO (Km)	LADO	COORDENADAS		MELHORIA
						Km INÍCIO	Km FIM	
ALÇA VIÁRIA	18	5,84	6,09	0,250	D	-3,870833	-3,882418	3ª FAIXA
						-49,093823	-49,085257	
ALÇA VIÁRIA	18	8,51	9,01	0,500	D	-3,878685	-3,880184	3ª FAIXA
						-49,089582	-49,085721	
ALÇA VIÁRIA	18	12,57	12,92	0,350	D	-3,909278	-3,954821	3ª FAIXA
						-49,066732	-49,055598	
ALÇA VIÁRIA	18	31,40	31,71	0,310	D	-3,900450	-3,958808	3ª FAIXA
						-49,082835	-49,055475	
ALÇA VIÁRIA	18	34,97	35,25	0,280	D	-3,977164	-3,995649	3ª FAIXA
						-49,053575	-49,049255	

Tabela 75: Locais de Implantação de 3ª Faixa na Alça Viária - Sul

Implantação de 3ª faixa na Alça Viária								
ALÇA VIÁRIA (SENTIDO SUL)								
RODOVIA	SH	Km FIM	Km INÍCIO	EXTENSÃO (Km)	LADO	COORDENADAS		MELHORIA
						Km INÍCIO	Km FIM	
ALÇA VIÁRIA	18	13,35	13,49	0,140	E	-4,002917	-3,954821	3ª FAIXA
						-49,053446	-49,055598	
ALÇA VIÁRIA	18	22,04	22,33	0,290	E	-3,995649	-4,014353	3ª FAIXA
						-49,049255	-49,046441	
ALÇA VIÁRIA	18	31,60	31,96	0,360	E	-3,958808	-3,977164	3ª FAIXA
						-49,055475	-49,053575	
ALÇA VIÁRIA	18	39,82	40,02	0,200	E	-3,900450	-3,909278	3ª FAIXA
						-49,082835	-49,066732	
ALÇA VIÁRIA	18	45,39	45,69	0,300	E	-3,880184	-3,878685	3ª FAIXA
						-49,085721	-49,089582	
ALÇA VIÁRIA	18	47,23	47,68	0,450	E	-3,882418	-3,870833	3ª FAIXA
						-49,085257	-49,093823	

16 NÚMERO N

16.1 DADOS DE PESAGEM

A obtenção do carregamento da frota, ou seja, o peso dos veículos foi obtido por meio da Pesquisa Origem-Destino realizada na rodovia conforme o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006), “(...) de forma aproximada podem ser obtidos como resultado de entrevistas de Origem e Destino, em que são anotados os pesos das cargas transportadas e as taras dos veículos. Pela distribuição dos pesos totais pelos eixos do veículo são então obtidas as cargas por eixo”.

Embasado pelo Manual de Estudos de Tráfego, foram calculados os pesos médios das taras dos veículos e peso médio das cargas além de levar em consideração os percentuais de veículos de carga que estavam vazios, com meia carga ou com carga plena.

A tabela seguinte apresenta a tara, peso das cargas e peso médio total combinado¹ (limite legal estabelecido) utilizados para o cálculo de Número N em cada uma das categorias.

¹ O peso médio total combinado não representa a soma da tara com o peso médio das cargas. A favor da segurança considerou-se o peso máximo licenciado.

Tabela 76: Pesos Médios e Carregamento

CATEGORIAS	PESOS MÉDIOS			% DE CARREGAMENTO		
	TARA	CARGAS	PBTC	VAZIOS	CHEIOS	MEIA CARGA
2CB			16000	25%	50%	25%
3CB			19500	25%	50%	25%
4CB			25500	25%	50%	25%
2C	6317	9973	16290	8%	75%	17%
3C	11338	21602	23000	17%	75%	8%
4CD	11619	22995	29000	13%	75%	13%
2S1	14000	24300	26000	25%	75%	0%
2S2	12604	20465	33000	12%	75%	13%
2S3	16283	32144	41500	20%	75%	5%
3S1	12600	23500	33000	25%	75%	0%
3S2	16973	33938	40000	13%	75%	13%
3S3	17707	40721	48500	19%	75%	6%
2I2	14143	19750	36000	25%	75%	0%
2I3	17500	36500	46000	25%	75%	0%
3I2	14500	13500	43000	25%	75%	0%
3I3	17709	36732	53000	15%	75%	10%
2J3	21500	21500	43000	25%	75%	0%
3J3	13714	21800	50000	0%	75%	25%
3C2	21500	21500	43000	5%	75%	20%
3D4	20854	35046	57000	25%	75%	0%
3D6	25185	51310	80000	5%	75%	20%
3T4	18988	36585	57000	25%	75%	0%
3T6	22508	40222	74000	13%	75%	13%
3M6	24018	40651	74000	17%	75%	8%
3P5	20000	41250	65500	25%	75%	0%
3Q4	23000	40000	63000	25%	75%	0%
3V5	27000	43158	65500	25%	75%	0%
3R6	22508	40222	74000	25%	75%	0%

Na Tabela 77 estão apresentados os fatores de veículos USACE e AASHTO calculados para cada classe quando vazia, meia carga e carga plena.

Tabela 77: Fatores de Veículo - USACE

CATEGORIAS	FV USACE			FV AASHTO		
	VAZIOS	CHEIOS	MEIA CARGA	VAZIOS	CHEIOS	MEIA CARGA
2CB		3,57			2,72	
3CB		2,69			0,96	
4CB		3,68			1,02	
2C	0,05	3,57	0,60	0,04	2,72	0,61
3C	0,22	8,83	7,17	0,14	1,97	1,68
4CD	0,09	9,81	2,83	0,51	2,03	3,10
2S1	0,52	6,86	7,10	0,57	5,12	5,24
2S2	0,13	12,12	1,69	0,10	4,36	0,91
2S3	0,30	12,87	3,22	0,27	4,28	1,47
3S1	0,13	12,12	2,33	0,08	4,36	1,20
3S2	0,29	17,38	7,09	0,18	3,61	1,83
3S3	0,24	18,13	4,78	0,15	3,53	1,28
2I2	0,19	10,15	1,33	0,18	7,51	1,31
2I3	0,92	13,44	3,24	0,94	9,91	3,33
3I2	0,12	15,41	0,53	0,08	6,76	0,33
3I3	0,14	18,70	2,48	0,08	9,15	1,76
2J3	0,67	15,41	3,21	0,68	6,76	1,98
3J3	0,07	20,66	0,65	0,04	6,01	0,30
3C2	0,57	15,41	3,21	0,52	6,76	1,98
3D4	0,25	25,92	2,99	0,11	5,25	1,02
3D6	0,19	30,53	2,68	0,09	13,19	1,90
3T4	0,21	25,92	2,55	0,14	5,25	0,90
3T6	0,19	34,47	1,78	0,08	6,90	0,70
3M6	0,57	27,43	2,05	0,51	5,09	0,59
3P5	0,17	26,68	2,02	0,08	5,17	0,70
3Q4	0,25	21,98	2,98	0,15	11,55	2,24
3V5	0,50	26,68	5,16	0,13	5,17	1,49
3R6	0,19	34,47	1,35	0,05	6,90	0,53

16.2 CÁLCULO DO NÚMERO N

Conhecendo-se os volumes de cada trecho – o qual corresponde à soma dos dois sentidos –, é possível proceder ao cálculo do número N.

A Tabela 78 traz o resultado do cálculo do número “N” pelas duas metodologias e para um horizonte de projeto de 10, 20 e 30 anos. Para efeito de Número N, foram considerados os 6 trechos a seguir, representativos de todas as rodovias em análise neste trabalho.

Tabela 78: Número N

CÁLCULO NÚMERO N		PISTA SIMPLES					
		Acumulado USACE			Acumulado AASHTO		
		Ano de Projeto			Ano de Projeto		
Segmento Homogêneo	Rodovia	10	20	30	10	20	30
1	PA-150 (entre Morada Nova e PU Jacundá)	6,42E+07	1,46E+08	2,51E+08	1,20E+07	2,73E+07	4,69E+07
2	PA-150 (entre Jacundá e Acesso a Tucuruí - PA-263)	5,59E+07	1,27E+08	2,19E+08	1,09E+07	2,47E+07	4,25E+07
3	PA-475 (entre Acesso a Tucuruí - PA-263 e Tailândia)	7,07E+07	1,61E+08	2,77E+08	1,36E+07	3,11E+07	5,34E+07
4	PA-475 (entre Tailândia e PA-151)	7,47E+07	1,70E+08	2,93E+08	1,40E+07	3,19E+07	5,48E+07
5	PA-151 (ENTRE PA-252 e PA-483/TREVO PETECA)	9,08E+07	2,07E+08	3,56E+08	1,68E+07	3,82E+07	6,57E+07
6	PA-483 (entre PA-151 e BR-155)	8,25E+07	1,88E+08	3,23E+08	1,55E+07	3,53E+07	6,06E+07

Para o segmento 5, o mais carregado, de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, considerando um número N no período de 10 anos na ordem de $9,08 \times 10^7$, tem-se uma indicação de revestimento concreto betuminoso na ordem de 12,5 cm de espessura.

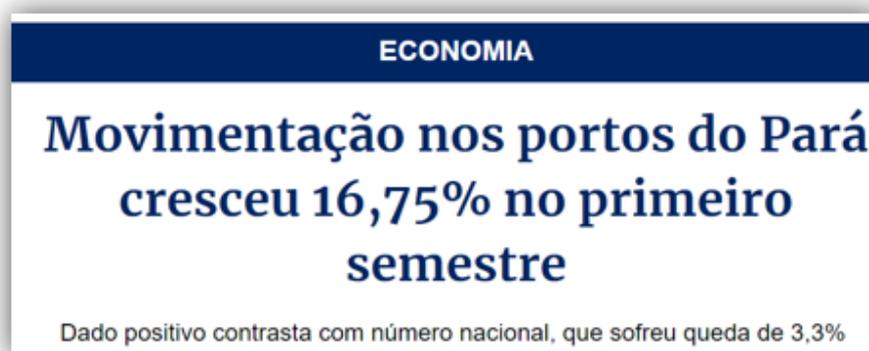
Para os demais trechos, as espessuras do revestimento podem ser obtidas por meio da tabela seguinte, que tem como fonte o Manual de Pavimentação do DNIT. As espessuras corretas, bem como a melhor solução para cada subtrecho, devem ser alvo de um projeto de pavimentação.

Tabela 79: Espessura Mínima de revestimento betuminoso

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

17 OBSERVAÇÕES ADICIONAIS SOBRE O ESTADO DO PARÁ

Para os próximos anos são esperados fortes investimentos no setor logístico do Pará, principalmente no que se refere à movimentação de cargas nos portos. Notícias recentes (Fonte: [CPG, 2022](#)) indicam uma expansão no Tecon Vila do Conde, um dos principais locais abastecidos pelas rodovias do presente estudo, com investimentos na ordem de R\$ 120 milhões para obras de infraestrutura e aquisição de equipamentos. O escoamento de soja é um dos grandes responsáveis pelo aumento da movimentação nos portos do Pará (Fonte: [O LIBERAL, 2022](#) e [ANTAQ, 2022](#)).



Entre os portos, o complexo de Vila do Conde respondeu por 31,3% da movimentação do estado. Por lá, houve um aumento de 15,1% no escoamento de soja. A título de comparação, a alta no escoamento da soja no porto de Santos, em São Paulo, foi de 8,2% no período, enquanto o porto de Paranaguá, no Paraná, registrou queda de 23,2%.

Figura 60: Movimentação nos portos do Pará (O LIBERAL, 2022)



Um dos destaques foi o Porto de Vila do Conde (PA), que movimentou 27% a mais neste primeiro bimestre do que no anterior. Em 2022, a instalação paraense movimentou três milhões de toneladas. O Terminal Aquaviário de Madre de Deus (BA) movimentou 3,2 milhões de toneladas, aumento de 16%.

Figura 61: Aumento da movimentação de carga nos portos brasileiros (ANTAQ, 2022)

18 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas consideraram alguns pontos relevantes que podem alterar significativamente a demanda de tráfego, sobretudo quando há, segundo divulgado pela EPL, a implantação da infraestrutura analisada no PNL 2035.

O PNL (Plano Nacional de Logística) prevê que até 2035 haverá um cenário tendencial de infraestrutura no país para melhor a eficiência do escoamento de cargas e da logística do Brasil, com isso, o estado do Pará receberia algumas intervenções que causariam queda no tráfego, sobretudo no tráfego de pesados. A tabela a seguir apresenta todas as possíveis infra, bem como os anos de expectativa.

Tabela 80: Cenários de Infraestrutura

CENÁRIO	TERMINAL MARABÁ	TERMINAL EM TUCURUÍ	TERMINAL EM CONCEIÇÃO DO ARAGUAIA	TERMINAIS NO MT	VILA DO CONDE	FNS	EFC	ANO
TENDENCIAL	X							2026
PESSIMISTA	X	X	X					2030
PNL2	X	X				X	X	2035
PNL6	X	X	X	X		X	X	2035
CAPACIDADE 2026 (MI ton)	10	10	10	10	31	>35	>120	
CAPACIDADE 2035 (MI ton)	10	10	10	10		>43	>120	

Portanto, além da implantação/viabilização da hidrovía, há previsão de implantação da Ferrovia Norte Sul (FNS) e duplicação da Estrada de Ferro do Carajás. Portanto, deve-se atentar para a redução de tráfego que tais alterações na infraestrutura podem causar. As figuras a seguir apresentam as infraestruturas previstas.

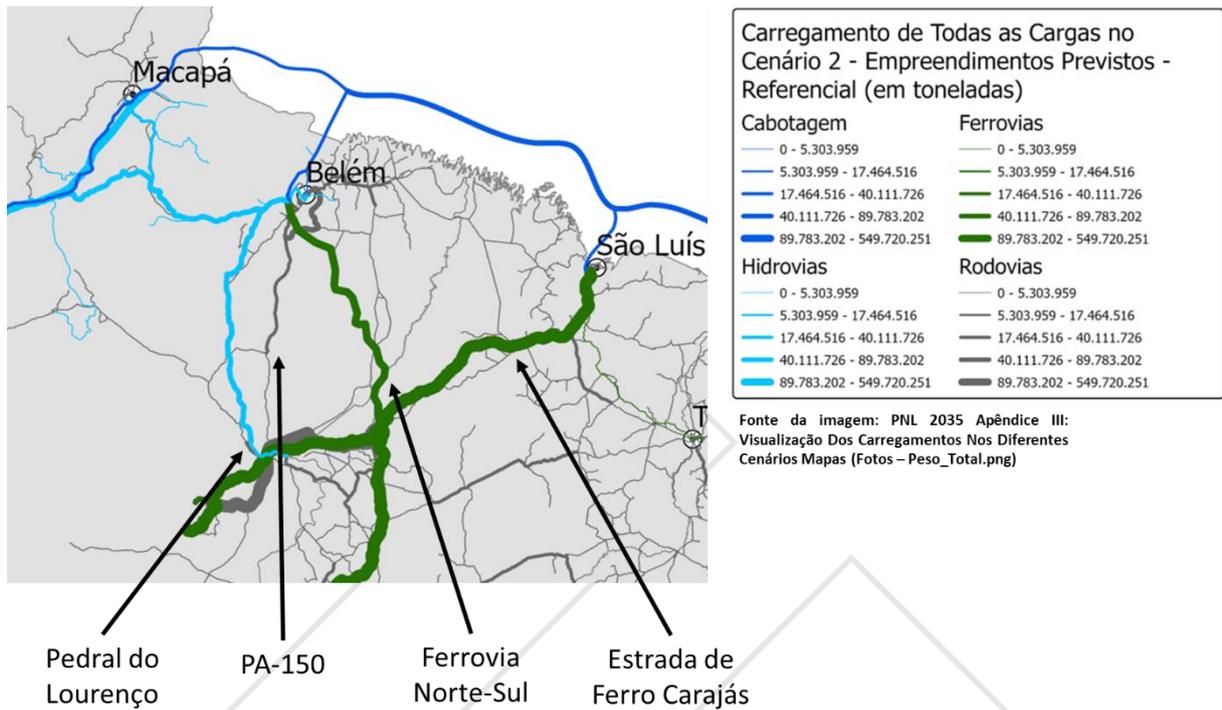


Figura 62: Cenário PNL – 2

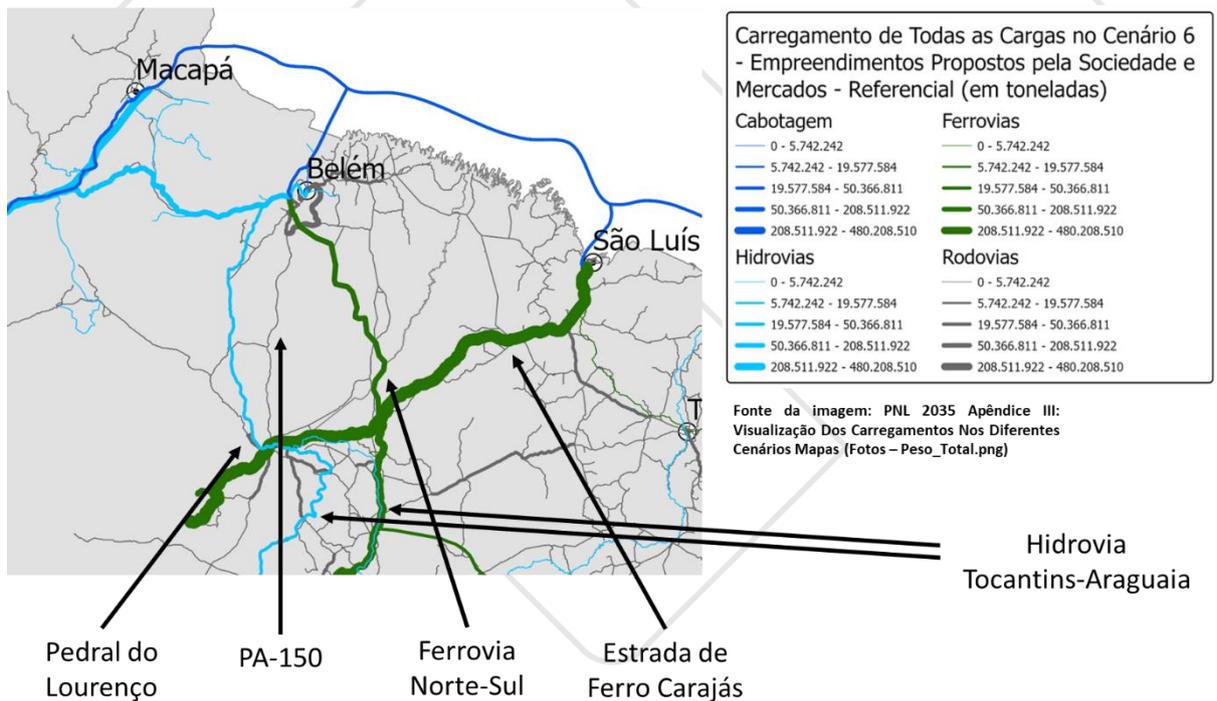


Figura 63: Cenário PNL – 6

As análises de cenário indicam uma redução média da ordem 70% no volume de tráfego se o cenário 2 do PNL viabilizar e uma queda da ordem de 80% se o cenário 6 se viabilizar.

Os dados podem ser conferidos na íntegra neste link https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/politica-e-planejamento/politica-e-planejamento/RelatorioExecutivoPNL_2035final.pdf.

Sugere-se, portanto, que seja considerada em algum momento a viabilização desses cenários, o que implicaria diretamente em algum impacto no âmbito da concessão. Tais impactos podem ser considerados no momento da análise de viabilidade ou, dada a incerteza temporal de quando irão acontecer esses investimentos, serem mitigados por meio de reequilíbrio do contrato. A Tabela 81 apresenta algumas variáveis e seu grau de confiabilidade no estudo desenvolvido.

Tabela 81: Variáveis presentes no estudo e seu grau de confiabilidade

VARIÁVEIS	GRAU DE CONFIABILIDADE	COMENTÁRIOS
TRÁFEGO	ALTO	O Tráfego apresentado é resultado da pesquisa de campo, que foi conferida diversas vezes por colaboradores diferentes, portanto é um dado que, após aferido, independe de fatores externos
CORREÇÃO SAZONAL	MÉDIO-ALTO	É uma variável que depende de dados históricos secundários, que podem ou não ser confiáveis
TAXA DE CRESCIMENTO	MÉDIO-BAIXO	A predição de qualquer acontecimento é uma das tarefas mais complexas da Eng. De Tráfego pois, além de necessitar de dados secundários confiáveis, há de se considerar que o cenário sócioeconômico não sofre alterações.
% DE FUGA DE PEDÁGIO	MÉDIO	Dado matemático estimado no modelo de tráfego com base em insumos colhidos em pesquisas de campo
CENÁRIO POLÍTICO-ECONÔMICO	BAIXO	É uma variável que também depende de fatores externos e que é impossível prever.

Destaca-se que variáveis político-econômicas são complexas de compreender/estimar, por isso as premissas devem ser alinhadas/definidas, após isto, deve-se buscar mitigar, com mecanismos, eventuais cenários de variações de difícil previsibilidade.

19 EQUIPE TÉCNICA

ImTraff Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda.

Av. Cristiano Machado n° 640, Sala 1106, Bairro Sagrada Família, BH-MG

Tel/Fax: +55 31 2516 8001

www.imtraff.com.br

Equipe de Trabalho:

RT: Frederico Rodrigues – Engº Civil, D.Sc., – CREA 90.217/D – MG

Igor Jackson Arthur Costa e Souza – Coordenador de Estudos

Vagner Stefanello – Estudos de Tráfego

Bruno Silvério – Pesquisas de campo

João Vitor Scare Martins – Pesquisas de campo