

**ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres**

**RDT – Recurso de Desenvolvimento Tecnológico**

## **RELATÓRIO FINAL**

**PROJETO 12 - ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO E DOS BENEFÍCIOS DO SISTEMA DE PEDAGIAMENTO FREE-FLOW NAS CONCESSÕES RODOVIÁRIAS BRASILEIRAS: ESTUDO DE CASO DAS ÁREAS METROPOLITANAS DA RODOVIA BR-381 NO TRECHO SOB CONCESSÃO DA CONCESSIONÁRIA AUTOPISTA FERNÃO DIAS**

**Concessionária Autopista Fernão Dias**

**31/10/2022**

## Sumário

Índice de Figuras.....	4
Índice de Tabelas.....	15
<b>1 DESCRIÇÃO DO PROJETO.....</b>	<b>18</b>
1.1 Título.....	18
1.2 Resumo.....	18
1.3 Palavras-chave.....	19
1.4 Justificativa .....	19
1.5 Objetivos.....	25
1.6 Organização do trabalho .....	26
1.7 Período de execução.....	27
1.8 Cronograma de execução.....	27
1.9 Local de execução .....	27
1.10 Equipe executora .....	27
<b>2 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS.....</b>	<b>28</b>
<b>3 ETAPA 1: ANÁLISE DO PANORAMA TECNOLÓGICO DAS FORMAS DE COBRANÇA DE PEDÁGIO .....</b>	<b>30</b>
3.1.1 Cobrança Eletrônica de Pedágios.....	30
3.1.2 Panorama Internacional .....	39
3.1.3 RPA no Brasil .....	44
<b>4 ETAPA 2: AQUISIÇÃO DE MATRIZ DE VIAGENS URBANAS BASEADO EM DADOS DE TELEFONIA.....</b>	<b>50</b>
4.1 Levantamento de dados .....	50
4.1.1 Contagem Volumétrica Classificatória (CVC) .....	50
4.1.2 Pesquisas Origem-Destino (OD).....	56
4.1.3 Dados de Telefonia Móvel.....	58
4.1.4 Dados Secundários .....	60
4.2 Rede georreferenciada .....	73
4.2.1 Base de Zonas (Zoneamento).....	74
4.2.2 Base de <i>Links</i> (Rede Viária) .....	77
4.3 Matrizes Origem-Destino.....	86
4.3.1 Matrizes Domiciliares .....	86

4.3.2	Matrizes de Cargas .....	88
4.3.3	Matrizes Interceptadas.....	90
4.3.4	Matrizes de Telefonia.....	91
4.3.5	Matrizes Resultantes.....	98
4.3.6	Segmentação de Demanda.....	109
<b>5</b>	<b>ETAPA 3: AVALIAÇÃO E MENSURAÇÃO DA INIQUIDADE TARIFÁRIA NA RODOVIA FERNÃO DIAS.....</b>	<b>113</b>
5.1	Infraestrutura Existente .....	113
5.2	Caracterização da Demanda .....	117
5.2.1	Perfil de Carregamento.....	121
5.2.2	Análise de Iniquidade.....	149
<b>6</b>	<b>ETAPA 4: ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA <i>FREE-FLOW</i> NA RODOVIA FERNÃO DIAS .....</b>	<b>163</b>
6.1	Obras de Infraestrutura.....	163
6.2	Tipologias de Pedagiamento Free-Flow.....	166
6.2.1	Sistema Complementar (Cen A).....	166
6.2.2	Sistema Híbrido (Cen B) .....	180
6.2.3	Substituição Tecnológica (Cen C).....	195
6.3	Resultados.....	207
6.3.1	Tráfego .....	208
6.3.2	Receita .....	216
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS GERADOS.....</b>	<b>231</b>
7.1	Viabilização de Novos Investimentos .....	233
7.2	Panorama de Oportunidades, Desafios e Recomendações Técnicas .....	237
7.3	Produtos Gerados.....	240
<b>8</b>	<b>CAPACITAÇÃO TÉCNICA DE PESSOAL .....</b>	<b>241</b>
<b>Apêndice 1 Composição veicular nos postos de pesquisa de Contagem Volumétrica Classificatória (CVC) .....</b>		<b>242</b>
<b>Apêndice 2 Detalhamento dos índices GEH dos postos de controle de volume na rede.....</b>		<b>244</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 – Trecho da chegada da Rodovia Fernão Dias em São Paulo, em vermelho destacada a Fernão Dias.....	20
Figura 2 – Trecho da chegada da Rodovia Fernão Dias em Belo Horizonte, em vermelho destacada a Fernão Dias.....	20
Figura 3 – Formação de congestionamento na chegada da Rodovia Fernão Dias a São Paulo (entroncamento com a Rodovia Pres. Dutra) no período da manhã.....	21
Figura 4 – Chegada da Rodovia Fernão Dias a São Paulo (entroncamento com a Rodovia Pres. Dutra) no período da tarde.....	22
Figura 5 – Formação de congestionamento na chegada da Rodovia Fernão Dias a Belo Horizonte no período da manhã.....	23
Figura 6 – Formação de congestionamento na chegada da Rodovia Fernão Dias a Belo Horizonte no período da tarde.....	23
Figura 7 – Configurações de pórticos para sistemas RPA.....	34
Figura 8 – Exemplo de pórticos utilizados para suporte de equipamentos de sistemas RPA.....	35
Figura 9 – Sistema lateral de monitoramento de veículos para sistemas RPA.....	36
Figura 10 – Pórtico móvel utilizado na manutenção de pórticos fixos.....	36
Figura 11 – Infográfico sobre a taxa de evasão dos sistemas RPA no Chile.....	38
Figura 12 – Países europeus que adotavam o sistema RPA em 2005 e a previsão de países que deve contar o modelo em 2025.....	40
Figura 13 – Praças de cobrança mista entre com e sem barreiras.....	43
Figura 14 – Portais de pagamento de tarifa para usuários sem OBU.....	43
Figura 15 – Vantagens associadas ao uso de OBU.....	44
Figura 16 – Definição da categoria veicular.....	44
Figura 17 – Custo da viagem com origem em Artur Nogueira com e sem a cobrança PaP.....	46
Figura 18 – Pórtico do PaP na Rodovia SP-360, em Itatiba.....	47
Figura 19 – Trecho em que será adotado o <i>free-flow</i> na BR-116, em São Paulo.....	48
Figura 20 – Ilustração da Seção Transversal de Sistema de <i>Managed Lanes</i> .....	48
Figura 21 – Localização dos postos de Contagem Volumétrica Classificatória (CVC) na RMSP..	51
Figura 22 – Localização dos postos de Contagem Volumétrica Classificatória (CVC) na RMBH.	52
Figura 23 – Agregação das categorias.....	54
Figura 24 – Distribuição veicular do Posto S1 na hora-pico manhã.....	55
Figura 25 – Localização das praças de pedágio na Fernão Dias.....	56
Figura 26 – Empresas envolvidas na obtenção da matriz OD de telefonia.....	59

Figura 27 – Localização dos postos de Contagem Volumétrica Classificada (CVC) – RMSP.....	60
Figura 28 – Disposição dos equipamentos SAT utilizados para dados de tráfego na RMSP .....	63
Figura 29 – Zoneamento da RMSP utilizado na pesquisa domiciliar .....	64
Figura 30 – Caracterização das viagens identificadas na pesquisa domiciliar .....	65
Figura 31 – Zoneamento da RMBH utilizado na pesquisa domiciliar .....	66
Figura 32 – Divisão em módulos da Pesquisa OD de RMBH.....	67
Figura 33 – Zoneamento da RMSP utilizado na pesquisa OD de cargas.....	68
Figura 34 – Zoneamento detalhado da RMSP utilizado na pesquisa OD de cargas .....	69
Figura 35 – Zoneamento da RMBH utilizado na pesquisa OD de cargas.....	70
Figura 36 – Zoneamento detalhado da RMBH utilizado na pesquisa OD de cargas .....	71
Figura 37 – Localização dos postos de pesquisa nas rodovias da linha de contorno da RMSP – 2017 .....	72
Figura 38 – Zoneamento utilizado no estudo da RMSP .....	75
Figura 39 – Zoneamento utilizado no estudo da RMSP (em destaque, a RMSP).....	75
Figura 40 – Zoneamento utilizado no estudo da RMBH .....	76
Figura 41 – Zoneamento utilizado no estudo (em destaque, a RMBH).....	76
Figura 42 – Base de <i>links</i> na rede georreferenciada da RMSP ( <i>zoom</i> na região metropolitana do estudo).....	77
Figura 43 – Base de <i>links</i> na rede georreferenciada da RMBH.....	78
Figura 44 – Exemplo de atributos de um <i>link</i> da rede georreferenciada (Interface <i>PTV Visum</i> ).....	79
Figura 45 – Hierarquia viária da rede de RMSP.....	80
Figura 46 – Hierarquia viária da rede de RMBH.....	80
Figura 47 – Vias de restrição de circulação de caminhões e ZMRC.....	84
Figura 48 – Vias de restrição de circulação de caminhões na RMBH .....	85
Figura 49 – Comparação do Zoneamento da Pesquisa Origem-Destino do Metrô e do Zoneamento do estudo.....	87
Figura 50 – (a) N zonas da matriz domiciliar, 1 zona do estudo; (b) Nenhuma zona totalmente contida .....	87
Figura 51 – Comparação do Zoneamento da Pesquisa Origem-Destino da RMBH e do Zoneamento do estudo.....	88
Figura 52 – Comparação do Zoneamento da Pesquisa Origem-Destino de Cargas da RMSP e do Zoneamento do estudo.....	89
Figura 53 – Comparação do Zoneamento da Pesquisa Origem-Destino de Cargas da RMBH e do Zoneamento do estudo.....	90
Figura 54 – Esquema dos dados de telefonia providos.....	92

Figura 55 – Distribuição de categorias por faixas de distância de viagem na RMSP (submatriz referencial diária da praça P-01 da Arteris).....	94
Figura 56 – Distribuição de categorias por faixas de distância de viagem na RMBH (submatriz referencial diária da praça P-08 da Arteris).....	95
Figura 57 – Distribuição de categorias por faixas de distância de viagem na RMSP (matriz de telefonia) .....	96
Figura 58 – Distribuição de categorias por faixas de distância de viagem na RMBH (matriz de telefonia) .....	96
Figura 59 – Linhas de desejo da matriz diária de telefonia, na RMSP.....	97
Figura 60 – Linhas de desejo das viagens da matriz diária de telefonia, na RMBH.....	98
Figura 61 – Conjuntos de viagens representados em cada Matriz OD.....	99
Figura 62 – Ilustração da ocorrência de dupla-contagem na elaboração de matrizes OD com base em pesquisas interceptadas .....	99
Figura 63 – Comparação da TLD das matrizes Semente e Final, Automóveis na RMSP .....	102
Figura 64 – Comparação da TLD das matrizes Semente e Final, Caminhões de 2 a 4 eixos na RMSP .....	102
Figura 65 – Comparação da TLD das matrizes Semente e Final, Caminhões de 5 ou mais eixos na RMSP.....	103
Figura 66 – Comparação da TLD das matrizes Semente e Final, Automóveis na RMBH.....	103
Figura 67 – Comparação da TLD das matrizes Semente e Final, Caminhões de 2 a 4 eixos na RMBH .....	104
Figura 68 – Comparação da TLD das matrizes Semente e Final, Caminhões de 5 ou mais eixos na RMBH.....	104
Figura 69 – Carregamento da rede da RMSP na hora-pico manhã.....	107
Figura 70 – Carregamento da rede da RMBH na hora-pico manhã.....	108
Figura 71 – Carregamento da rede da RMSP na hora-pico tarde .....	108
Figura 72 – Carregamento da rede da RMBH na hora-pico tarde .....	109
Figura 73 – Processo de segmentação da demanda.....	109
Figura 74 – Segmentação da demanda adotada (Modo de Transporte: Automóveis).....	110
Figura 75 – Segmentação da demanda adotada (Modos de Transporte: Caminhões Rígidos e Caminhões Articulado).....	110
Figura 76 – Interligações de interesse da Rodovia Fernão Dias na RMSP.....	114
Figura 77 – Interligações de interesse da Rodovia Fernão Dias na RMBH.....	115
Figura 78 – Trechos de marginal existente na Fernão Dias na RMSP .....	116
Figura 79 – Trechos de marginal existente na Fernão Dias na RMBH (a) com destaque para o trecho mais contínuo (b) .....	117

Figura 80 – Destaque dos postos de pesquisa CVC utilizados para a caracterização da demanda na Fernão Dias no trecho da RMSP.....	118
Figura 81 – Destaque dos postos de pesquisa CVC utilizados para a caracterização da demanda na Fernão Dias no trecho da RMBH.....	119
Figura 82 – Perfil horário da média dos postos S1 a S10 (RMSP) no sentido Belo Horizonte, por categoria veicular.....	120
Figura 83 – Perfil horário da média dos postos S1 a S10 (RMSP) no sentido São Paulo, por categoria veicular.....	120
Figura 84 – Perfil horário da média dos postos S29 a S41 (RMBH) no sentido Belo Horizonte, por categoria veicular.....	121
Figura 85 – Perfil horário da média dos postos S29 a S41 (RMBH) no sentido São Paulo, por categoria veicular.....	121
Figura 86 – Perfil de carregamento no Cenário Atual da RMSP na (a) hora-pico manhã e na (b) hora-pico tarde.....	123
Figura 87 – Perfil de carregamento no Cenário Atual da RMBH na (a) hora-pico manhã e na (b) hora-pico tarde.....	124
Figura 88 – Marcos quilométricos em destaque utilizados para a caracterização da demanda da Fernão Dias na RMSP .....	125
Figura 89 – Marcos quilométricos em destaque utilizados para a caracterização da demanda da Fernão Dias na RMBH .....	126
Figura 90 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 90.....	127
Figura 91 – Carregamento na pista expressa do sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 90.....	127
Figura 92 – Carregamento na pista marginal do sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 90.....	128
Figura 93 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 90 .....	128
Figura 94 – Carregamento na pista expressa do sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 90.....	129
Figura 95 – Carregamento na pista marginal do sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 90.....	129
Figura 96 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 81.....	130
Figura 97 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 65.....	130
Figura 98 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 65 .....	131

Figura 99 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 477 .....	132
Figura 100 – Carregamento na pista expressa do sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 477 .....	132
Figura 101 – Carregamento na pista marginal do sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 477 .....	133
Figura 102 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 477.....	133
Figura 103 – Carregamento na pista expressa do sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 477 .....	134
Figura 104 – Carregamento na pista marginal do sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 477 .....	134
Figura 105 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 491 .....	135
Figura 106 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 491.....	135
Figura 107 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 545 .....	136
Figura 108 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 545.....	137
Figura 109 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 90.....	138
Figura 110 – Carregamento na pista expressa do sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 90.....	138
Figura 111 – Carregamento na pista marginal do sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 90.....	139
Figura 112 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 90 .....	139
Figura 113 – Carregamento na pista expressa do sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 90 .....	140
Figura 114 – Carregamento na pista marginal do sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 90 .....	140
Figura 115 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 81 .....	141
Figura 116 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 65 .....	141
Figura 117 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 65 .....	142

Figura 118 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 477 .....	143
Figura 119 – Carregamento na pista expressa do sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 477 .....	143
Figura 120 – Carregamento na pista marginal do sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 477 .....	144
Figura 121 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 477 .....	144
Figura 122 – Carregamento na pista expressa do sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 477 .....	145
Figura 123 – Carregamento na pista marginal do sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 477 .....	145
Figura 124 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 491 .....	146
Figura 125 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 491 .....	147
Figura 126 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 545 .....	148
Figura 127 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 545 .....	148
Figura 128 – Contraste entre tarifa quilométrica nominal e efetivamente paga pelo usuário em sistemas de pedagiamento aberto.....	149
Figura 129 – Trecho de cobertura da praça de pedágio (TCP) P-01 na RMSP.....	150
Figura 130 – Trecho de cobertura da praça de pedágio (TCP) P-08 na RMBH.....	151
Figura 131 – Atração e geração de viagens de acordo com a matriz de telefonia da RMSP .....	151
Figura 132 – Atração e geração de viagens de acordo com a matriz de telefonia da RMBH .....	152
Figura 133 – Perfil volumétrico de veículos comerciais ao longo do trecho da TCP do P-08 (RMBH) .....	153
Figura 134 – Perfil volumétrico de veículos de passeio ao longo do trecho da TCP do P-08 (RMBH) .....	154
Figura 135 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08.....	154
Figura 136 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens analisadas da RMBH .....	155
Figura 137 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH.....	156
Figura 138 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH.....	157

Figura 139 – Perfil volumétrico de veículos comerciais ao longo do trecho da TCP do P-01 (RMSP)	158
Figura 140 – Perfil volumétrico de veículos de passeio ao longo do trecho da TCP do P-01 (RMSP)	159
Figura 141 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08.....	159
Figura 142 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens analisadas da RMBH	160
Figura 143 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP .....	161
Figura 144 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP .....	162
Figura 145 – Obras de infraestrutura consideradas nos cenários futuros da rede da RMSP.....	164
Figura 146 – Detalhe das obras de infraestrutura (1) e (2) na rede da RMSP.....	164
Figura 147 – Obras de infraestrutura consideradas nos cenários futuros da rede da RMBH .....	165
Figura 148 – Prolongamentos de marginais da rodovia Fernão Dias na RMBH previstos.....	165
Figura 149 – Trecho de cobrança via <i>free-flow</i> no cenário A na RMSP .....	167
Figura 150 – Detalhamento do início do trecho de pedagiamento <i>free-flow</i> (em vermelho) no Cenário A, nas extremidades norte (a) e sul (b) da Fernão Dias na RMSP .....	167
Figura 151 – Trecho englobado pelo cenário A na RMBH.....	168
Figura 152 – Detalhamento do início do trecho de pedagiamento <i>free-flow</i> (em vermelho) no Cenário A, nas extremidades norte (a) e sul (b) da Fernão Dias na RMBH.....	169
Figura 153 – Comparação do carregamento da rede de RMSP no Cenário A, com relação ao Cenário Base, na HPM – em detalhe, o trecho de cobrança <i>free-flow</i> .....	170
Figura 154 – Comparação do carregamento da rede de RMSP no Cenário A, com relação ao Cenário Base, na HPT – em detalhe, o trecho de cobrança <i>free-flow</i> .....	171
Figura 155 – Comparação do carregamento da rede de RMBH no Cenário A, com relação ao Cenário Base, na HPM – em detalhe, o trecho de cobrança <i>free-flow</i> .....	171
Figura 156 – Comparação do carregamento da rede de RMBH no Cenário A, com relação ao Cenário Base, na HPT – em detalhe, o trecho de cobrança <i>free-flow</i> .....	172
Figura 157 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-01, para o Cenário A na HPM	173
Figura 158 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-01, para o Cenário A na HPT	173
Figura 159 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens do Cenário A da RMSP na HPM (a) e HPT (b) .....	174
Figura 160 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP no Cenário A na HPM (a) e na HPT (b) .....	175

Figura 161 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP no Cenário A na HPM (a) e na HPT (b) .....	176
Figura 162 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08, para o Cenário A na HPM .....	177
Figura 163 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08, para o Cenário A na HPT .....	177
Figura 164 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens do Cenário A da RMBH na HPM (a) e HPT (b) .....	178
Figura 165 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH no Cenário A na HPM (a) e na HPT (b) .....	179
Figura 166 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH no Cenário A na HPM (a) e na HPT (b) .....	180
Figura 167 – Trecho englobado pelo cenário B na RMSP.....	182
Figura 168 – Detalhamento do início do trecho de pedagiamento <i>free-flow</i> (em vermelho) no Cenário B, nas extremidades norte (a) e sul (b) da Fernão Dias na RMSP.....	182
Figura 169 – Trecho englobado pelo cenário B na RMBH.....	183
Figura 170 – Detalhamento do início do trecho de pedagiamento <i>free-flow</i> (em vermelho) no Cenário B, nas extremidades norte (a) e sul (b) da Fernão Dias na RMBH .....	184
Figura 171 – Comparação do carregamento da rede de RMSP no Cenário B, com relação ao Cenário Base, na HPM.....	185
Figura 172 – Comparação do carregamento da rede de RMSP no Cenário B, com relação ao Cenário Base, na HPT.....	186
Figura 173 – Comparação do carregamento da rede de RMBH no Cenário B, com relação ao Cenário Base, na HPM.....	186
Figura 174 – Comparação do carregamento da rede de RMBH no Cenário B, com relação ao Cenário Base, na HPT.....	187
Figura 175 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-01, para o Cenário B na HPM .....	188
Figura 176 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-01, para o Cenário B na HPM .....	188
Figura 177 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens do Cenário B da RMSP na HPM (a) e HPT (b) .....	189
Figura 178 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP no Cenário B na HPM (a) e na HPT (b).....	190
Figura 179 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP no Cenário B na HPM (a) e na HPT (b).....	191
Figura 180 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08, para o Cenário B na HPM .....	192

Figura 181 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08, para o Cenário B na HPT .....	192
Figura 182 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens do Cenário B da RMBH na HPM (a) e HPT (b) .....	193
Figura 183 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH no Cenário B na HPM (a) e na HPT (b).....	194
Figura 184 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH no Cenário B na HPM (a) e na HPT (b).....	195
Figura 185 – Trecho englobado pelo cenário C na RMSB.....	196
Figura 186 – Trecho englobado pelo cenário C na RMBH.....	197
Figura 187 – Comparação do carregamento da rede de RMSB no Cenário C, com relação ao Cenário Base, na HPM.....	198
Figura 188 – Comparação do carregamento da rede de RMSB no Cenário C, com relação ao Cenário Base, na HPT.....	198
Figura 189 – Comparação do carregamento da rede de RMBH no Cenário C, com relação ao Cenário Base, na HPM.....	199
Figura 190 – Comparação do carregamento da rede de RMBH no Cenário C, com relação ao Cenário Base, na HPT.....	199
Figura 191 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-01, para o Cenário C na HPM .....	200
Figura 192 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-01, para o Cenário C na HPM .....	200
Figura 193 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08, para o Cenário C na HPM .....	201
Figura 194 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08, para o Cenário C na HPT .....	201
Figura 195 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens do Cenário C da RMSB na HPM (a) e HPT (b) .....	202
Figura 196 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens do Cenário C da RMBH na HPM (a) e HPT (b) .....	203
Figura 197 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSB no Cenário C na HPM (a) e na HPT (b).....	204
Figura 198 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSB no Cenário C na HPM (a) e na HPT (b).....	205
Figura 199 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH no Cenário C na HPM (a) e na HPT (b).....	206
Figura 200 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH no Cenário C na HPM (a) e na HPT (b).....	207

Figura 201 – Comparação da rede de RMSP no cenário base com infraestrutura vs. sem infraestrutura futura na hora-pico manhã.....	208
Figura 202 – Comparação da rede de RMBH no cenário base com infraestrutura vs. sem infraestrutura futura na hora-pico manhã.....	209
Figura 203 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMSP no Cenário A com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras .....	210
Figura 204 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMBH no Cenário A com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras.....	210
Figura 205 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMSP no Cenário B com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras .....	211
Figura 206 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMBH no Cenário B com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras.....	211
Figura 207 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMSP no Cenário C com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras .....	212
Figura 208 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMBH no Cenário C com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras.....	212
Figura 209 – Comparação da rede de RMSP no cenário base com infraestrutura vs. sem infraestrutura futura na hora-pico tarde .....	213
Figura 210 – Comparação da rede de RMBH no cenário base com infraestrutura vs. sem infraestrutura futura na hora-pico tarde .....	213
Figura 211 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMSP no Cenário A com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras .....	214
Figura 212 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMBH no Cenário A com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras.....	214
Figura 213 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMSP no Cenário B com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras .....	215
Figura 214 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMBH no Cenário B com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras.....	215
Figura 215 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMSP no Cenário C com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras .....	216
Figura 216 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMBH no Cenário C com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras.....	216
Figura 217 – Exemplo hipotético de alternativas de expansão de resultados dos períodos de análise para o dia médio.....	218
Figura 218 – Ilustração da abordagem proposta para expansão dos resultados dos períodos de análise para o dia útil médio, considerando o HPM como período-crítico no sentido do exemplo hipotético .....	219

Figura 219 – Medições apresentadas em Pesquisas de Monitoração da Fluidez (automóveis/hora) .....	220
Figura 220 – Estimativas de receita para o Ano 0 nos cenários da rede de RMSP sem obras de infraestrutura, por fonte de receita e categoria veicular.....	222
Figura 221 – Estimativas de receita para o Ano 0 nos cenários da rede de RMBH sem obras de infraestrutura, por fonte de receita e categoria veicular.....	223
Figura 222 – Comparação entre a receita do Ano 0 dos cenários com e sem obras de infraestrutura futuras, na RMSP .....	224
Figura 223 – Comparação entre a receita do Ano 0 dos cenários com e sem obras de infraestrutura futuras, na RMBH.....	224
Figura 224 – Projeção de receita para o cenário A na RMSP .....	225
Figura 225 – Projeção de receita para o cenário A na RMBH .....	226
Figura 226 – Projeção de receita para o cenário B na RMSP.....	226
Figura 227 – Projeção de receita para o cenário B na RMBH.....	227
Figura 228 – Projeção de receita para o cenário C na RMSP.....	227
Figura 229 – Projeção de receita para o cenário C na RMBH.....	228
Figura 230 – Estimativas de receita anual para as variações de tarifa nos trechos de <i>free-flow</i> dos cenários, na RMSP.....	229
Figura 231 – Estimativas de receita anual para as variações de tarifa nos trechos de <i>free-flow</i> dos cenários, na RMBH.....	229
Figura 232 – Ponto sugerido de melhoria de acesso do km 513+630 da Rod. Fernão Dias (a) <i>Streetview</i> e (b) Satélite .....	234
Figura 233 – Ponto sugerido de melhoria de acesso do km 53+300 da Rod. Fernão Dias (a) <i>Streetview</i> e (b) Satélite.....	235
Figura 234 – Ponto sugerido de melhoria de acesso do km 84+900 da Rod. Fernão Dias (a) <i>Streetview</i> e (b) Satélite.....	236
Figura 235 – Ponto sugerido para a implantação de passarela de pedestres no km 482+650 da Rod. Fernão Dias.....	237
Figura 236 – Pontos sugeridos para a implantação de passarela de pedestres: km 87+180 e km 87+915 da Rod. Fernão Dias .....	237

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Equipe de consultoria e execução.....	27
Tabela 2 – Equipe de supervisão/revisão e confecção do relatório final.....	27
Tabela 3 – Descrição das tecnologias de monitoramento de veículos.....	30
Tabela 4 – Infraestrutura de suporte necessária a cada tipo de tecnologia.....	33
Tabela 5 – Custos de construção por ponto de cobrança para a operação bidirecional.....	37
Tabela 6 – Custo total de implantação dos cenários de pedágios com e sem barreiras.....	37
Tabela 7 – Exemplos de países com experiências em sistemas RPA.....	40
Tabela 8 – Usuários do sistema PaP no ano de 2017 .....	47
Tabela 9 – Postos de coleta no estudo da RMSP e suas respectivas localizações e sentidos.....	51
Tabela 10 – Postos de coleta no estudo da RMBH e suas respectivas localizações e sentidos .....	52
Tabela 11 – Datas de levantamento dos postos S1 a S10 (ambos os sentidos) .....	53
Tabela 12 – Datas de levantamento dos postos S29 a S41 (ambos os sentidos).....	53
Tabela 13 – Fatores de conversão hora-pico manhã para os postos de coleta da Rod. Fernão Dias	55
Tabela 14 – Fatores de conversão hora-pico tarde para os postos de coleta da Rod. Fernão Dias ..	55
Tabela 15 – Número de veículos por categoria Posto S1 - HPM.....	56
Tabela 16 – Valores calculados do Fator dia útil: Tráfego em Praças de Pedágio .....	57
Tabela 17 – Valores calculados do Fator período: Tráfego em Praças de Pedágio .....	57
Tabela 18 – Valores calculados do Fator HP: Tráfego em Praças de Pedágio.....	57
Tabela 19 – Valores calculados do Fator Dia-Período Pico: Tráfego em Praças de Pedágio .....	58
Tabela 20 – Postos de coleta no estudo da Rod. Pres. Dutra e suas respectivas localizações e sentidos .....	60
Tabela 21 – Datas de levantamento dos postos P1 a P8 .....	62
Tabela 22 – Datas de levantamento dos postos P9 a P15 .....	62
Tabela 23 – Postos de Coleta da Linha de Contorno da Pesquisa Origem-Destino de RMBH.....	73
Tabela 24 – Hierarquia viária básica da rede de RMSP .....	81
Tabela 25 – Hierarquia viária básica da rede de RMBH .....	81
Tabela 26 – Horários de restrição das vias para circulação de caminhões.....	85
Tabela 27 – Intervalos de DTD calibrados para a classificação das matrizes de telefonia na RMSP .....	95
Tabela 28 – Intervalos de DTD calibrados para a classificação das matrizes de telefonia na RMBH .....	95
Tabela 29 – Pesos das matrizes para geração da matriz-semente.....	100

Tabela 30 – Aderência dos fluxos modelados em relação aos fluxos observados, por categoria veicular na RMSP (HPM).....	105
Tabela 31 – Aderência dos fluxos modelados em relação aos fluxos observados, por categoria veicular na RMSP (HPT).....	106
Tabela 32 – Aderência dos fluxos modelados em relação aos fluxos observados, por categoria veicular na RMBH (HPM).....	106
Tabela 33 – Aderência dos fluxos modelados em relação aos fluxos observados, por categoria veicular na RMBH (HPT).....	107
Tabela 34 – Características utilizadas na segmentação da demanda.....	110
Tabela 35 – Fatores de segmentação de demanda (Automóveis) .....	111
Tabela 36 – Fatores de segmentação de demanda (Caminhões).....	111
Tabela 37 – Categorias de segmentação de demanda de automóveis .....	111
Tabela 38 – Custos de viagem generalizado (análogo ao valor do tempo) estimados para as categorias de automóveis .....	112
Tabela 39 – Categorias de segmentação de demanda de caminhões.....	112
Tabela 40 – Custos de viagem generalizado (análogo ao valor do tempo) estimados para as categorias de caminhões .....	112
Tabela 41 – Fatores aplicados às categorias simuladas para obtenção do volume das categorias pedagiadas.....	217
Tabela 42 – Fatores de Volume do dia útil médio / Volume do dia médio.....	219
Tabela 43 – Taxas de crescimento populacional, em relação ao ano anterior, projetadas para SP220	
Tabela 44 – Taxas de crescimento populacional, em relação ao ano anterior, projetadas para MG .....	221
Tabela 45 – Estimativas de receita para o Ano 0 nos cenários da rede de RMSP sem obras de infraestrutura, por fonte de receita e categoria veicular.....	222
Tabela 46 – Estimativas de receita para o Ano 0 nos cenários da rede de RMBH sem obras de infraestrutura, por fonte de receita e categoria veicular.....	223
Tabela 47 – Receita total projetada para os cenários propostos na RMSP .....	228
Tabela 48 – Receita total projetada para os cenários propostos na RMBH .....	228
Tabela 49 – Variações de tarifa avaliadas nos trechos de <i>free-flow</i> dos cenários.....	228
Tabela 50 – Variação de demanda por cenário de acordo com a variação da tarifa quilométrica, na RMSP.....	230
Tabela 51 – Variação de demanda por cenário de acordo com a variação da tarifa quilométrica, na RMBH.....	230
Tabela 52 – Número de veículos por categoria dos postos da Pesquisa Volumétrica Classificatória na Rodovia Fernão Dias.....	242

Tabela 53 – Avaliação do GEH por ponto de controle na RMSP (HPM) .....	244
Tabela 54 – Avaliação do GEH por ponto de controle na RMSP (HPT) .....	246
Tabela 55 – Avaliação do GEH dos pontos da linha de contorno nas rodovias Anchieta e Imigrantes no período da manhã.....	249
Tabela 56 – Avaliação do GEH dos pontos da linha de contorno nas rodovias Anhanguera, Bandeirantes e Raimundo Pereira Magalhães no período da manhã.....	249
Tabela 57 – Avaliação do GEH por ponto de controle na RMBH (HPM) .....	249
Tabela 58 – Avaliação do GEH por ponto de controle na RMBH (HPT) .....	251

# 1 DESCRIÇÃO DO PROJETO

A Arteris, em parceria com a ANTT, contratou serviços técnicos profissionais especializados para diagnosticar os fluxos rodoviários no eixo da Rodovia Federal BR-381/MG/SP (rodovia Fernão Dias), que conecta as regiões metropolitanas de Belo Horizonte-MG e São Paulo-SP. O presente estudo, intitulado “Análise da Viabilidade da Implantação e dos Benefícios do Sistema de Pedagiamento *Free-Flow* nas Concessões Rodoviárias Brasileiras: Estudo de Caso das Áreas Metropolitanas da Rodovia BR-381 no Trecho Sob Concessão da Concessionária Autopista Fernão Dias”, tem como objetivo analisar a viabilidade técnica da implantação do sistema de pedagiamento *free-flow*<sup>1</sup> nas concessões rodoviárias brasileiras como forma de promoção de equidade tarifária e viabilização de novos investimentos. O projeto se desenvolve por meio do estudo de caso dos trechos sob administração da Autopista Fernão Dias que permeiam as áreas urbanas da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), por meio de análises realizadas com o apoio de modelo de macrossimulação.

A Autopista Fernão Dias opera um trecho da rodovia BR-381/SP/MG com 562 quilômetros de extensão, entre São Paulo e Belo Horizonte, desde 2008. Há, no trecho, oito praças de pedágio em operação, localizadas em segmentos rurais da rodovia, distantes de grandes manchas urbanas. Em específico, os trechos em estudo consistem nos segmentos viários da rodovia Fernão Dias (BR-381) inseridos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)<sup>2</sup> e a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH)<sup>3</sup>.

Para o propósito descrito, é necessário compreender o comportamento do tráfego metropolitano, distinto do tráfego rodoviário de média e longa distâncias, para que se possa compreender os potenciais impactos de intervenções pontuais sobre o sistema rodoviário na escala da RMSP e da RMBH, objetos de estudo do presente relatório.

## 1.1 Título

Análise da viabilidade de implantação e dos benefícios do sistema de pedagiamento *Free-Flow* nas concessões rodoviárias brasileiras. Estudo de caso das áreas metropolitanas da rodovia BR-381 no trecho sob concessão da concessionária Autopista Fernão Dias.

## 1.2 Resumo

O estudo inicia com uma análise do panorama tecnológico das formas de cobrança de pedágio, seguido de um levantamento e processamento de dados de telefonia móvel, matrizes OD de pesquisas domiciliares existentes nas RMs, volumes e séries históricas de tráfego de praças de pedágio e SATs da concessionária, matrizes de viagens de estudos anteriores e de fontes oficiais, e dados de natureza

---

<sup>1</sup> Conforme será discutido no capítulo 3, terminologias mais precisas para esta tipologia de sistemas de arrecadação seriam *Open Road Tolling* (rodovia de pedágio aberto, ou RPA, em tradução literal) ou *All-electronic tolling* (pedagiamento exclusivamente eletrônico, em tradução literal). Não obstante, emprega-se o termo “*free-flow*” para referir-se a tal tipologia de sistemas de pedagiamento, fazendo-se as devidas ressalvas semânticas em relação ao uso desta expressão nesta conotação.

<sup>2</sup> Especificamente definido entre a Praça de Pedágio de Mairiporã (km 65) e o entroncamento com a Rodovia Presidente Dutra (km 90).

<sup>3</sup> Especificamente definido entre o início da concessão, no município de Contagem (km 477), e a Praça de Pedágio Itatiaiuçu (km 546).

similar – insumos, estes, necessários para subsidiar o desenvolvimento do modelo de tráfego construído na plataforma do software PTV Visum.

As simulações realizadas nos modelos são utilizadas, em um primeiro momento, para o processamento das informações georreferenciadas e então para diagnosticar o padrão atual de uso e de iniquidade nos trechos da concessão da Autopista Fernão Dias nas regiões metropolitanas de Belo Horizonte e São Paulo. Subsequentemente, são propostas e analisadas alternativas de pedagiamento *free-flow* nestes trechos, avaliando seus impactos na iniquidade e na arrecadação tarifária dos trechos nestes cenários alternativos. Por fim, são feitas análises críticas dos resultados dos cenários alternativos, além de explorações complementares visando gerar orientações adicionais, e então são elaboradas recomendações gerais no tocante à implementação de pedagiamento *free-flow* no presente contexto e aos principais pontos de atenção envolvidos.

### 1.3 Palavras-chave

*Free-flow*, iniquidade tarifária, transporte urbano, transporte regional, pedagiamento, sistema de arrecadação, *big data*, modelos de tráfego

### 1.4 Justificativa

O objeto de estudo é a BR-381/MG/SP, Rodovia Federal Fernão Dias, que conecta as Regiões Metropolitanas de São Paulo e Belo Horizonte. O escopo específico do presente relatório refere-se ao trecho metropolitano de São Paulo entre o km 65 e o km 90 – alternativamente, entre a Praça de Pedágio de Mairiporã e o entroncamento com a BR-116/SP (Rodovia Presidente Dutra) – e ao trecho metropolitano de Belo Horizonte entre o km 477 e 546 – alternativamente, entre o início da concessão, no município de Contagem-MG, e a Praça de Pedágio Itatiaiuçu.

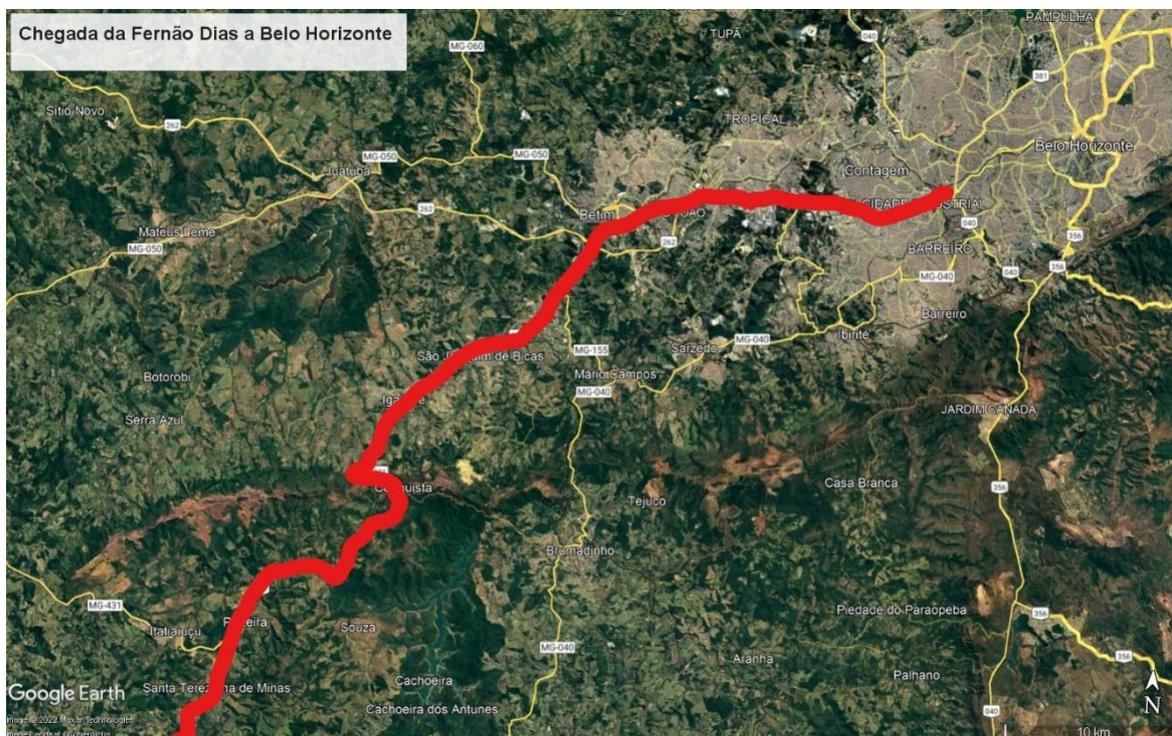
Por conectar ambas as regiões metropolitanas, com o importante papel de ligar as cidades de São Paulo e Belo Horizonte, a Fernão Dias é também a principal via de acesso às capitais para as cidades adjacentes a seu eixo. Na Figura 1 e na Figura 2 pode-se observar o trecho de chegada da rodovia a São Paulo e Belo Horizonte, respectivamente.

**Figura 1 – Trecho da chegada da Rodovia Fernão Dias em São Paulo, em vermelho destacada a Fernão Dias**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 2 – Trecho da chegada da Rodovia Fernão Dias em Belo Horizonte, em vermelho destacada a Fernão Dias**

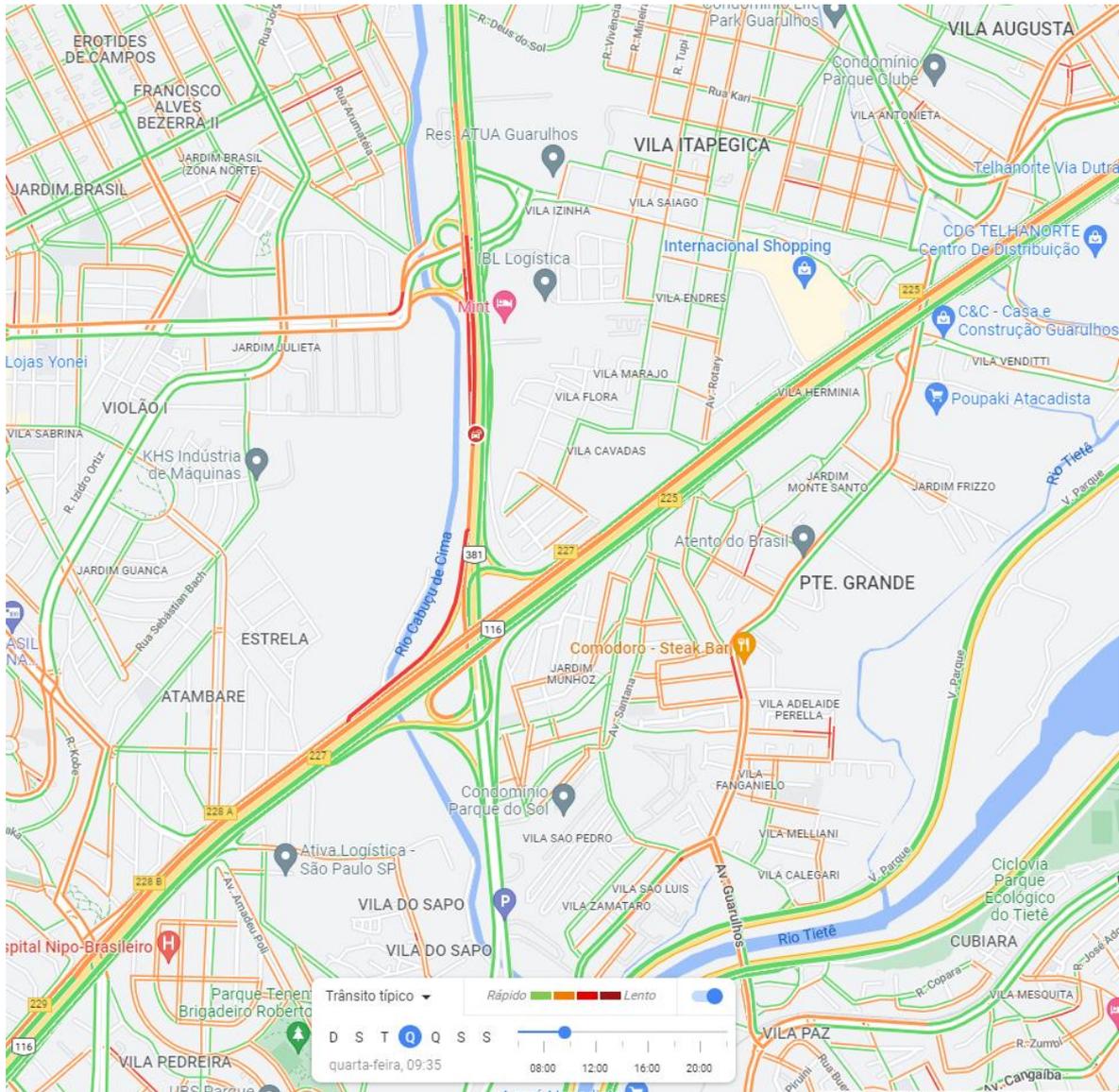


Fonte: Elaboração LOGIT

O movimento pendular dos habitantes das cidades adjacentes para as capitais é notado pela formação de congestionamento no sentido São Paulo (na RMSP) e sentido Belo Horizonte (na RMBH) no período da manhã, ao passo que no período da tarde há formação de congestionamento

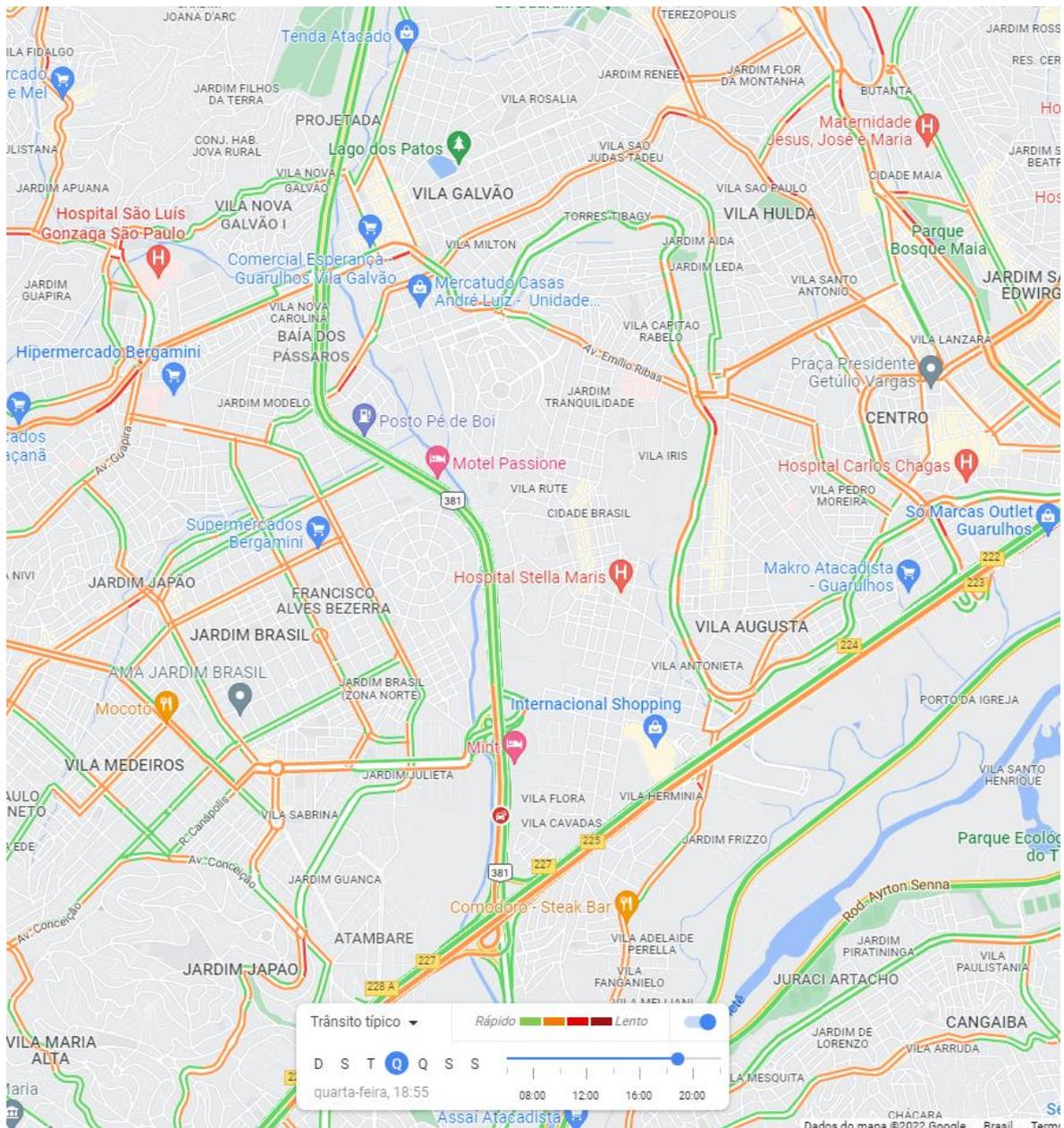
no sentido contrário. Nota-se como no período da tarde, na RMSP, o congestionamento é mais perceptível na Rodovia Pres. Dutra, no sentido saindo da capital, e não afeta tanto a rodovia do presente estudo. Esse comportamento é verificado nos dias úteis conforme ilustrado na Figura 3, Figura 4, Figura 5 e Figura 6, que correspondem à uma consulta ao *Google Maps*, em que se verifica a condição de tráfego típica das vias (congestionamento) relativa ao histórico, podendo filtrar o dia da semana e o horário.

**Figura 3 – Formação de congestionamento na chegada da Rodovia Fernão Dias a São Paulo (entroncamento com a Rodovia Pres. Dutra) no período da manhã**



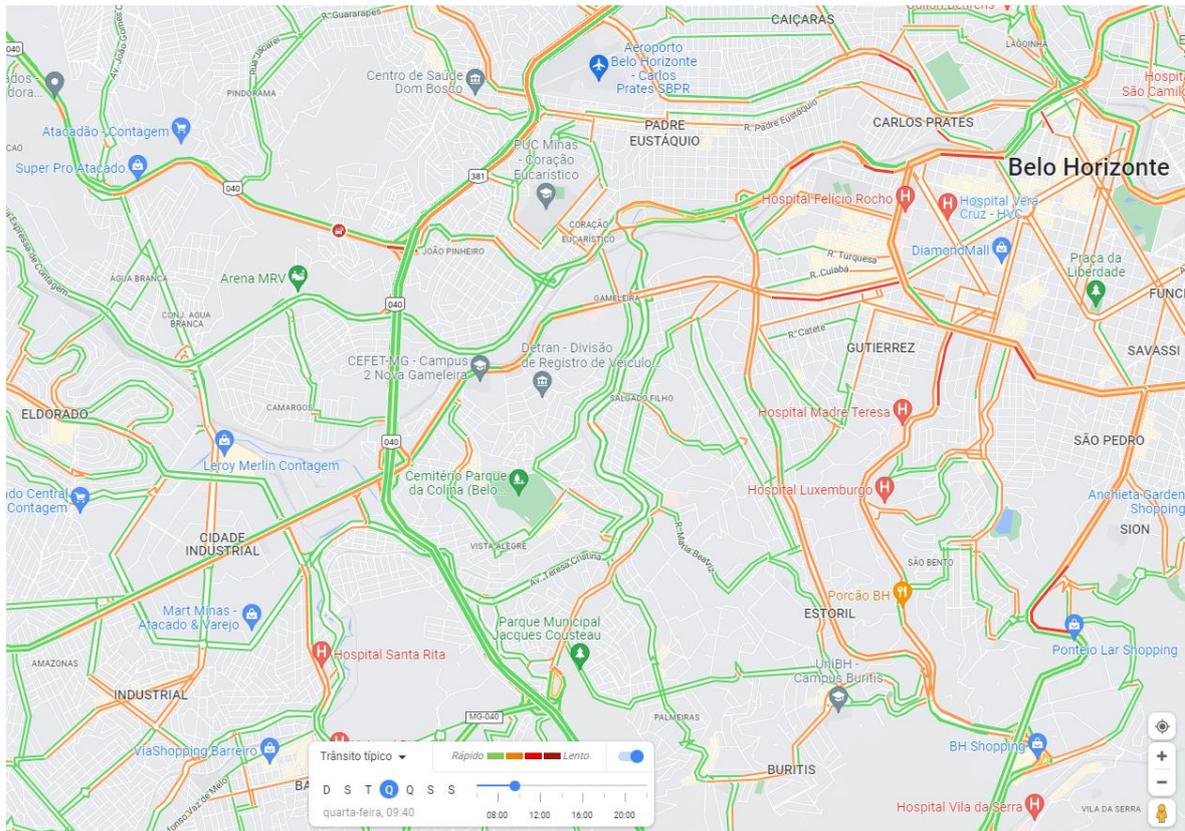
Fonte: Elaboração LOGIT com base em *Google Maps*

**Figura 4 – Chegada da Rodovia Fernão Dias a São Paulo (entroncamento com a Rodovia Pres. Dutra) no período da tarde**



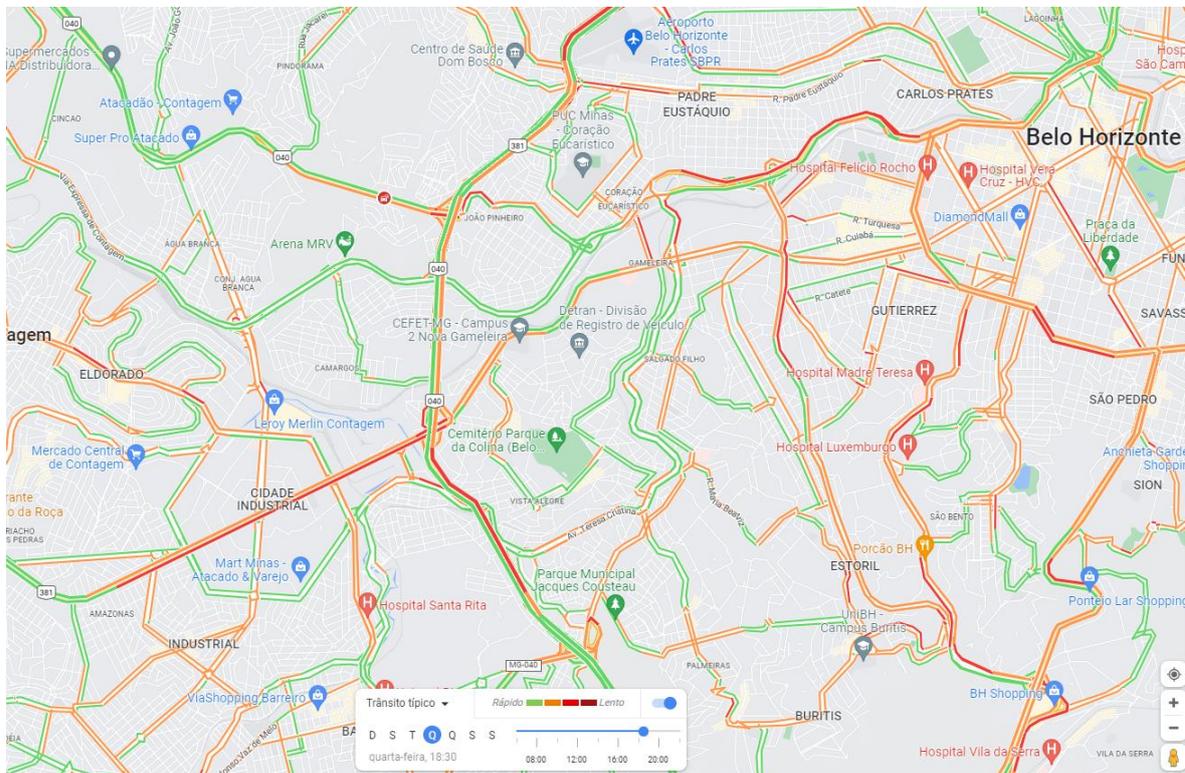
Fonte: Elaboração LOGIT com base em Google Maps

**Figura 5 – Formação de congestionamento na chegada da Rodovia Fernão Dias a Belo Horizonte no período da manhã**



Fonte: Elaboração LOGIT com base em Google Maps

**Figura 6 – Formação de congestionamento na chegada da Rodovia Fernão Dias a Belo Horizonte no período da tarde**



Fonte: Elaboração LOGIT com base em Google Maps

Análises preliminares indicam que, na Rodovia Fernão Dias, a concentração de usuários “não-pagantes” é elevada, devido ao elevado fluxo de tráfego nas regiões metropolitanas existentes nos dois extremos do lote, local em que não há praças de pedágio. Esses usuários que utilizam a rodovia e não pagam tarifa acabam por ser subsidiados pelos usuários de longa distância, que pagam todo o trecho percorrido. Nesse caso, são especialmente impactados os caminhoneiros, pelo fato de percorrerem grandes distâncias. Caso todos os usuários pagassem efetivamente pelo trecho que percorreram, a concessionária poderia auferir receita adicional que viabilizaria novos investimentos.

Esse desequilíbrio decorre principalmente de viagens de curta distância (usualmente urbanas ou entre cidades próximas) realizadas dentro da concessão, em que o usuário percorre trechos sem praças de pedágio.

Na impossibilidade de implantar praças de pedágio em todos os segmentos homogêneos e/ou entre todas as manchas urbanas existentes no lote rodoviário, devido ao alto custo de investimento com as desapropriações necessárias, ao elevado custo operacional envolvido, bem como pelo aumento de interferência na viagem dos usuários, devem ser pensadas soluções para tomar o sistema de pedagiamento mais justo por meio de alternativas racionalizadas.

O modelo mais equitativo de pedagiamento seria aquele que permitiria que o usuário pagasse efetivamente um valor proporcional ao trecho percorrido. Este sistema, usualmente conhecido como *Open Road Tolling* (ORT), como *All-Eletronic Tolling* (AET) ou informalmente como *free-flow*, exige que se registre, ao menos, o ponto de entrada e de saída do usuário no sistema, de forma a medir a quilometragem percorrida.

Atualmente não existe no Brasil um sistema que possa ser considerado como *free-flow*, conforme definido no parágrafo anterior – havendo sistemas híbridos, baseados em pórticos que atuam como praças de pedágio remotas, dividindo os Trechos de Cobertura originais das praças de pedágio físicas.

Considerando seu contexto, para o caso específico da Fernão Dias sugere-se um sistema *free-flow* que operaria nos dois extremos do trecho concedido, nas regiões metropolitanas de São Paulo (RMSP) e de Belo Horizonte (RMBH), onde potencialmente se localiza a maior parte dos usuários que utilizam a rodovia não captados pelo sistema de pedagiamento. Nesses segmentos, as viagens são caracterizadas por sua curta distância e por serem destinadas aos grandes centros urbanos pela manhã com retorno no período da tarde (deslocamentos pendulares).

É importante destacar que um estudo similar foi desenvolvido pela LOGIT no âmbito do Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica da nova concessão da Rodovia Presidente Dutra (BR-116/SP/RJ), que tem nos seus extremos a RMSP e a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Assim como foi realizado para o estudo da Rodovia Presidente Dutra, para a devida aferição das implicações da adoção de um sistema *free-flow*, é fundamental que seja feita uma caracterização detalhada da demanda de tráfego existente, com dados robustos que possam subsidiar as análises.

Para tal, as principais ferramentas a serem utilizadas nesse trabalho são matrizes Origem-Destino, ajustadas aos volumes de tráfego e alocadas à modelos de simulação que permitirão identificar os pares de viagens existentes, os trajetos das viagens, as principais rotas alternativas existentes e a extensão das viagens dentro da rodovia.

As matrizes Origem-Destino utilizadas em estudos urbanos exigem grande detalhamento de informações e amostragem e por isso são resultantes de informações existentes (dados secundários)

e tratadas especificamente para o estudo em questão. Tipicamente a coleta de informações se dá por entrevistas de interceptação realizadas com usuários no eixo da via em estudo e nas principais rotas alternativas existentes. Por questões de segurança, dos pesquisadores e dos usuários da via, as pesquisas devem ser executadas em locais adequados, com visibilidade, iluminação, sinalização e, principalmente, com apoio policial.

Em trechos rodoviários com mais de uma faixa por sentido e grande fluxo veicular, há grande restrição à execução adequada de entrevistas Origem-Destino principalmente por dificuldades relacionadas na obtenção do apoio policial. Este problema é potencializado próximo à grandes regiões metropolitanas, onde há elevado volume de veículos e de faixas.

Como solução à impossibilidade de obtenção dos dados de forma convencional, pode-se utilizar dados oriundos de empresas de telefonia, que obtém registros de deslocamentos dos usuários de suas bases de clientes. Com estes dados, é possível inferir uma matriz Origem-Destino com uma amostragem muito superior do que a atingida tradicionalmente.

A utilização destes dados é muito recente em estudos rodoviários no Brasil, tendo sido utilizado oficialmente pela primeira vez em 2019, no estudo da Rodovia Presidente Dutra, projeto no qual a LOGIT foi a responsável pela especificação dos dados necessários e o processamento dos mesmos.

Ressalta-se que este trabalho visa, sobretudo, entender os benefícios e desafios envolvidos na implantação do sistema *free-flow* nas concessionárias federais, sendo a Autopista Fernão Dias, um estudo de caso cuja análise servirá de modelo para expansão do *free-flow* para as demais concessões federais.

## 1.5 Objetivos

Conforme mencionado, o objetivo do presente estudo é analisar a viabilidade técnica da implantação do sistema de pedagiamento *free-flow* nas concessões rodoviárias brasileiras como forma de promoção de equidade tarifária e viabilização de novos investimentos, por meio do estudo de caso das áreas urbanas da RMSP e RMBH no trecho sob administração da Autopista Fernão Dias.

O objetivo específico do estudo é apoiar a concepção de intervenções para a rodovia dentro dos trechos mencionados, norteando o detalhamento das intervenções e a integração entre as mesmas, além de permitir a obtenção da estimativa de receita associada ao pedagiamento *free-flow*, ou trecho-a-trecho, nestes segmentos. A viabilização desta tipologia de pedagiamento é baseada na adoção de tecnologias capazes de realizar a cobrança sem introduzir perturbações sobre a corrente de tráfego, configurando o que é chamada de Rodovia de Pedágio Aberto (RPA), que será melhor descrita no Capítulo 3.

Como objetivos específicos, definem-se, ainda:

- a) Analisar o panorama tecnológico das formas de cobrança de pedágio e as melhores práticas internacionais;
- b) Diagnosticar e mensurar a iniquidade tarifária da Autopista Fernão Dias nestes trechos urbanos e determinar como tal desequilíbrio pode afetar a concessão e seus usuários;
- c) Analisar a viabilidade técnica de implantação de sistema *Free-Flow* nestes trechos urbanos, como medida para mitigar o desequilíbrio tarifário existente;

- d) Analisar os impactos da implantação desse sistema aos usuários;
- e) Recalcular a iniquidade do sistema após a implantação do *Free-Flow*;
- f) Estimar receita adicional auferida pela concessionária com a implantação do novo sistema e analisar como esse recurso pode impactar na viabilização de novos investimentos, que penalizem os usuários de longa distância, especialmente os caminhoneiros;
- g) Estabelecer um panorama de desafios, oportunidades e recomendações técnicas para que o sistema *Free-Flow* possa ser implantado nas demais concessões rodoviárias federais.

## 1.6 Organização do trabalho

Além do capítulo supracitado, os capítulos seguintes se encontram segmentados em três grandes partes:

1. Levantamento e processamento de dados e construção e calibração do modelo de macrossimulação;
2. Diagnóstico da situação atual e proposição de intervenções para definição de cenário alternativo;
3. Análise dos resultados e recomendações gerais.

Em relação à primeira parte, o Capítulo 4 descreve a pesquisa de contagem volumétrica classificatória, a pesquisa origem-destino coletada nas praças de pedágio, a coleta de dados de telefonia e das demais fontes secundárias que foram processadas para servirem de insumo para a calibração do modelo de macrossimulação; apresenta a construção da rede de simulação, descrevendo a resolução espacial do modelo; e apresenta o processo de construção das matrizes de viagens resultante da composição das diversas fontes de dados, a segmentação da demanda em análise, seguido da apresentação da validação do modelo de simulação.

Em relação à segunda parte, o Capítulo 5 apresenta o diagnóstico da situação atual, caracterizando a demanda da rodovia no trecho em análise e apresentando as condicionantes à fluidez do tráfego; o Capítulo 6 enumera as diretrizes e premissas que fomentaram a proposição de alternativas e lista as intervenções consideradas para a construção dos cenários alternativos e apresenta os resultados com os carregamentos futuros nas pistas expressa e marginal da rodovia Fernão Dias e nas alças e agulhas de acesso que se conectam à pista expressa, assim como a projeção de receita a partir da implantação de sistema de pedagiamento *free-flow*.

O relatório se encerra no Capítulo 7, em que são apresentadas recomendações gerais em relação à implantação das intervenções propostas, com discussões acerca de aspectos contratuais que devem ser considerados.

Assim, o estudo fica dividido nas seguintes etapas:

1. Análise do Panorama Tecnológico das formas de Cobrança de Pedágio;
2. Aquisição de matriz de viagens urbanas baseado em dados de telefonia;
3. Avaliação e mensuração da iniquidade tarifária na rodovia Fernão Dias;
4. Análise da viabilidade de implantação do Sistema Free-Flow na Fernão Dias;
5. Relatório Final; e
6. Capacitação Técnica (Apresentação e discussões com ANTT em Brasília).

## 1.7 Período de execução

O período de execução do presente projeto de pesquisa e desenvolvimento foi de 15 de Outubro de 2021 a 14 de Maio de 2022. Houve pequeno atraso na confecção do relatório final em virtude do volume de dados analisados, porém sem o comprometimento do resultado deste, o que fez com que o projeto terminasse duas semanas após o programado inicialmente.

## 1.8 Cronograma de execução

Item	Atividade	Período de execução						
		Meses						
		out/21	nov/21	dez/21	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22
1	LOGIT	Análise do Panorama Tecnológico das formas de Cobrança de Pedágio	X					
2	VIVO	Obtenção de matriz de viagens urbanas baseado em dados de telefonia	X	X	X			
3	LOGIT	Avaliação e mensuração da iniquidade tarifária na rodovia Fernão Dias	X	X	X	X		
4	LOGIT	Análise da viabilidade de implantação do Sistema Free-Flow na Fernão Dias				X	X	X
5	LOGIT	Relatório Final						X
6	CAPACITAÇÃO	Capacitação Técnica (Apresentação e discussões com ANTT em Brasília)						X

## 1.9 Local de execução

O trabalho será desenvolvido no escritório da Logit Engenharia Consultiva. A matriz de origem e destino será obtida por meio de dados de telefonia provenientes de antenas localizadas nas regiões metropolitanas de São Paulo e Belo Horizonte. Salieta-se que os dados telefônicos garantem o anonimato conforme a LGPD.

A supervisão e revisão serão feitas no escritório da Arteris S.A em São Paulo/SP.

## 1.10 Equipe executora

Tabela 1 – Equipe de consultoria e execução

Nome	CPF	Função no projeto	Empresa
Osires N. Beverinotti	456.***.***-**	Engenheiro Consultor Especial	Logit Engenharia Consultiva LTDA
Wagner C. Martins	428.***.***-**	Engenheiro Coordenador	Logit Engenharia Consultiva LTDA
Diogo B. Martins	223.***.***-**	Engenheiro de Projetos Sênior	Logit Engenharia Consultiva LTDA
Augusto P. Ghilardi	302.***.***-**	Engenheiro de Projetos Sênior	Logit Engenharia Consultiva LTDA
Vinicius B. Pietrantonio	080.***.***-**	Engenheiro de Projetos Pleno	Logit Engenharia Consultiva LTDA
Gabriel S. R. Souza	439.***.***-**	Especialista em Modelagem	Logit Engenharia Consultiva LTDA

Fonte: Elaboração LOGIT

Tabela 2 – Equipe de supervisão/revisão e confecção do relatório final

Nome	CPF	Função no projeto	Empresa
Eduardo Loewen	063.***.***-**	Supervisão/Revisão e Confecção do Relatório Final (não remunerado no cronograma)	Arteris S.A.

Fonte: Elaboração Arteris

## 2 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

O objetivo do presente estudo é avaliar impactos de intervenções específicas na escala de regiões metropolitanas. Isto requer o desenvolvimento de modelos de tráfego mais desagregados espacialmente e temporalmente, além de demandar levantamentos de dados compatíveis com tal grau de desagregação.

A análise de viabilidade de implantação do sistema *free-flow* na rodovia passa, preliminarmente, por um entendimento do perfil demanda urbana das regiões a serem analisadas, pois é necessário confirmar e mensurar a iniquidade do corredor como justificativa para propor eventuais modificações no sistema tarifário da concessão.

Esta análise será apoiada em modelos de simulação de tráfego no software *PTV Visum*, a serem alimentados com os dados obtidos especificamente para este estudo (dados de telefonia móvel, com matrizes de telefonia que podem ser adaptadas de forma flexível ao zoneamento desejado para o estudo, trazendo o detalhamento adequado de origem e destino das viagens, além de permitir a obtenção de uma amostra representativa das viagens na área) e com dados secundários já disponíveis (matrizes OD de pesquisas domiciliares existentes nas RMs, volumes e séries históricas de tráfego de praças de pedágio e SATs da concessionária, matrizes de viagens de estudos anteriores e de fontes oficiais, etc.).

Como principais benefícios do uso de dados de telefonia são listadas a agilidade e flexibilidade na escolha da abrangência temporal da coleta de dados, a amostragem substancialmente maior que métodos tradicionais e a coleta de dados passiva (não-intrusiva), sendo especialmente adequado em contextos em que a interceptação das viagens é inviável. Como limitações, os dados de telefonia não são capazes de distinguir de forma autossuficiente o modo de transporte utilizado nas viagens e não fornecem informações qualitativas complementares - como categoria veicular e faixa de renda (componente dos métodos tradicionais) – as quais precisam ser aferidas indiretamente e/ou com auxílio de dados complementares (e.g., pesquisas OD interceptadas). Como tentativa de segregar os fluxos por tipo de veículo, é possível realizar análises longitudinais para caracterização do comportamento dos usuários – ainda que essa abordagem possua imprecisões inerentes, uma vez que não é possível distinguir a área cinzenta em que se encontram os veículos de carga que realizam viagens de curta e média distâncias e automóveis utilizados como táxi ou motorista particular (e.g., de aplicativos de transporte privado).

Mesmo com tais limitações, os benefícios pesam mais a favor do emprego de tal método de coleta de dados e a utilização de dados de telefonia em áreas urbanas se mostra adequada (técnica e financeiramente) quando comparada aos demais métodos existentes.

Em suma, são considerados como premissa inicial do estudo os seguintes fatores:

- Serão utilizados dados de telefonia (operadora Vivo) como principal informação em relação aos fluxos de veículos na malha viária do estudo (demanda de viagens dia útil);
- Como segmentação da demanda, serão considerados veículos de passeio, comercial com e sem restrição de circulação;
- Dados de contagem volumétrica classificatória (CVC) realizadas especificamente para esse estudo e séries históricas de volume horário de praças de pedágio servirão de balizador para a calibração das matrizes de demanda;

- Dados de pesquisas origem-destino interceptadas (pontos na linha de contorno das regiões metropolitanase nas praças de pedágio) serão utilizados como apoio aos dados de telefonia no fluxo de viagens;
- Dados da pesquisa domiciliar do Metrô (ODSP 2017) e da Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (2013) serão utilizados como apoio aos dados de telefonia, principalmente no fluxo de veículos de passeio dentro da RM; e
- Dados de pesquisas origem-destino de cargas (2017) serão utilizados como apoio aos dados de telefonia no fluxo de veículos comerciais.

Os modelos representarão a atual demanda da rodovia, de forma a permitir a simulação do comportamento dos usuários com a implantação do *free-flow*. Os modelos também permitirão simular efeitos de cenários alternativos, incluindo cobrança para usuários específicos e combinação de modelos, por exemplo.

Ademais, também será possível estimar as receitas adicionais que serão auferidas com a Implantação do sistema *free-flow*, o que poderá permitir a viabilização de novos investimentos a serem realizados na rodovia em prol dos usuários.

### 3 ETAPA 1: ANÁLISE DO PANORAMA TECNOLÓGICO DAS FORMAS DE COBRANÇA DE PEDÁGIO

O Sistema de Rodovia de Pedágio Aberto (RPA), muito comumente nomeado por *free-flow*, é um método automático e sem barreiras de cobrança da tarifa de pedágio, permitindo a extinção do uso de praças convencionais. Pode ser referido pelas seguintes nomenclaturas internacionais (mas não limitado a elas):

*Free-Flow Tolling*      *Open Road Tolling*      *Barrier Free Tolling*

**Pedágio de Fluxo Livre**    **Rodovia de Pedágio Aberto**    **Pedágio sem Barreiras**

Nos capítulos a seguir, encontram-se elencadas informações sobre tecnologias existentes para este tipo de operação, exemplos de implantações de sistemas equivalente ao redor do mundo e o corrente cenário nacional quanto a sistemas desta natureza.

#### 3.1.1 Cobrança Eletrônica de Pedágios

A implementação de uma RPA requer o monitoramento dos veículos que trafegam pela rodovia de maneira completamente digital, comumente envolvendo a instalação de dispositivos tanto nos veículos – *On-Board Unit (OBU)* – quanto nas rodovias – *Roadside Infrastructure*. No item 3.1.1.1, a seguir, são apresentadas as soluções disponíveis atualmente.

##### 3.1.1.1 Tecnologias de Monitoramento de Veículos e Cobrança de Pedágio

As tecnologias disponíveis para a implementação de RPAs, no âmbito da detecção dos veículos que trafegam pela rodovia, são listadas a seguir e seu funcionamento é descrito na Tabela 3.

- Automatic Number/License Plate Recognition (ANPR ou ALPR);
- Radio-Frequency Identification (RFID);
- Dedicated Short-Range Communications (DSRC);
- Global Navigation Satellite System (GNSS);
- Smartphone;
- Tacógrafo.

**Tabela 3 – Descrição das tecnologias de monitoramento de veículos.**

Tecnologia	Funcionamento
ANPR	Utilização específica de câmeras e <i>Optical Character Recognition (OCR)</i> no reconhecimento de placas de veículos para fins de cobrança ou autuação, com equipamentos capazes de realizar leituras em veículos trafegando a velocidades de 300km/h. Como vantagens, tem-se que não é necessária uma <i>On-Board Unit (OBU)</i> , a não ser a própria placa de identificação veicular, exigindo mínima atuação do usuário; além disso trata-se de uma tecnologia já utilizada na fiscalização. A configuração mais utilizada para pedagiamento consiste na combinação de outras tecnologias e algoritmos de análise de imagens, não sendo amplamente utilizado como solução única para tarifação. A configuração mais utilizada é o uso de pórticos, posicionando as câmeras sobre as faixas e, assim, reduzindo a sobreposição de veículos. Também é comumente utilizado um par de câmeras, realizando a leitura frontal e posterior do veículo.

Tecnologia	Funcionamento
<i>RFID</i>	<p>As desvantagens consistem na susceptibilidade a condições meteorológicas e de luminosidade ou obstruções que afetem a visibilidade, assim como a más condições de preservação ou ausência da placa. Ainda, essa tecnologia requer a existência de um banco de dados com as placas dos veículos que podem trafegar pela via, bem como a sua associação com um meio de pagamento, no caso do pedágio.</p> <p>Transferência de informações a partir de ondas de rádio a 915MHz entre uma <i>OBU</i> identificadora instalada no veículo e um leitor posicionado sobre a sua trajetória, capaz de realizar leituras em veículos trafegando a velocidades de 240km/h, sendo a troca de informações é exclusivamente do identificador para o leitor.</p> <p>O identificador é um dispositivo passivo (não exige baterias) padronizado, pequeno e barato, normalmente comercializado como uma etiqueta adesiva e instalado na parte interna do para-brisa do veículo, sendo pouco suscetível a más condições meteorológicas e fraudes, mas apresenta susceptibilidade a interferências, como por fibras metálicas utilizadas no para-brisa, por exemplo.</p> <p>É uma tecnologia já adotada no Brasil para pagamentos eletrônicos de pedágio. No entanto, o funcionamento do sistema requer um leitor de maior potência, havendo limites para a radiação que pode ser emitida em alguns países da Europa. Ainda, a configuração mais utilizada para o fim de pedágio é com o uso de pórticos, posicionando leitores sobre as faixas, sendo recomendando o uso de ANPR como reforço.</p>
<i>DSRC</i>	<p>Transferência de informações a partir de ondas de rádio a 5,8GHz (subconjunto do <i>RFID</i>) entre uma <i>OBU</i> identificadora instalada no veículo e um leitor posicionado sobre a sua trajetória, com equipamentos capazes de realizar leituras em veículos trafegando a velocidades de 240km/h. Seu funcionamento é padronizado por normas internacionais e encontra-se em desuso no Brasil, sendo mais utilizado na Europa.</p> <p>O identificador é ativo (exige uma bateria) e de longa duração, apresentando maiores dimensões e custos que a configuração passiva (<i>RFID</i>), apesar de ainda pequeno e acessível. É comumente instalado na parte interna do para-brisa do veículo, sendo pouco suscetível a más condições meteorológicas, fraudes e demais interferências.</p> <p>Por ser ativo, a qualidade da leitura e o nível de segurança são melhores que a versão passiva, dado que a troca de informações ocorre bidirecionalmente entre o identificador e o leitor. A configuração mais utilizada para o fim de pedágio é com o uso de pórticos, posicionando leitores sobre as faixas. Para reforço, recomenda-se o uso de ANPR.</p>
<i>GNSS</i>	<p>Baseada no sistema de posicionamento (registro da posição do veículo que se desloca pela malha viária), requer uma <i>OBU</i> com sensor <i>GNSS</i> para rastreamento do dispositivo, capaz de se comunicar com uma central de gestão do sistema, com a cobrança realizada de acordo com a passagem do veículo por seções de rodovias pedagiadas. Não há limite de velocidade para o registro da rota.</p> <p>Seu uso é crescente para a coleta da tarifa de veículos comerciais, embora ainda recente. Não requer grandes implantações de infraestruturas ao longo da via, como pórticos, reduzindo o custo de implantação. No entanto, é necessária a existência de uma base atualizada e precisa da malha rodoviária, além de exigir <i>OBUs</i> mais complexas e de alto custo.</p> <p>Ainda, a tecnologia é suscetível a condições meteorológicas e obstáculos que dificultem a visibilidade de satélites e falhas na precisão do posicionamento (como no caso de vias paralelas, em que uma é pedagiada e outra não), bem como ausência de rede de comunicação em regiões mais remotas.</p> <p>Recomenda-se o uso de ANPR como reforço à fiscalização e existem empasses quanto à privacidade de dados no tocante às constantes trocas de informações sobre o posicionamento do veículo.</p>

Tecnologia	Funcionamento
Smartphone	<p>Geralmente complementar no ramo dos sistemas RPA, como no auxílio da coleta de dados pela <i>OBU</i> ou pagamento pela internet, os aparelhos celulares pessoais podem ser utilizados como substituto do <i>OBU</i>, dada sua capacidade de processar sinais tanto <i>GSM</i> quanto <i>GNSS</i>, sendo a velocidade limitada pela tecnologia principal (<i>ANPR/RFID/DSRC</i>).</p> <p>É baseada no registro da posição do veículo à medida que se desloca pela malha rodoviária, posteriormente informada a centros de controle, a cobrança é realizada de acordo com a passagem por seções de rodovias pedagiadas.</p> <p>Não requer grandes infraestruturas ao longo da via, como pórticos, reduzindo o custo de implantação, e atinge mais facilmente os desbancarizados (supõe a posse de <i>smartphones</i>, sendo principalmente eficaz quando a penetração destes dispositivos é alta entre os usuários).</p> <p>No entanto, é necessária a existência de uma base atualizada e precisa da malha rodoviária, bem como sinal e precisão <i>GNSS</i>.</p> <p>Ainda, a tecnologia – ainda pouco utilizada e não padronizada – é susceptível a condições meteorológicas e obstáculos que dificultem a visibilidade de satélites e falhas na precisão do posicionamento (como no caso de vias paralelas, em que uma é pedagiada e outra não) – esbarrando principalmente na menor precisão de <i>smartphones</i> relativamente a um equipamento dedicado ao <i>GNSS</i> –, bem como a ausência de rede de comunicação em regiões mais remotas.</p> <p>Recomenda-se o uso de <i>ANPR</i> como reforço à fiscalização e existem empasses quanto à privacidade de dados no tocante às constantes trocas de informações sobre o posicionamento do veículo.</p>
Tacógrafo	<p>Pouco difundida, esta forma de monitoramento é baseada no tacógrafo do veículo. A tarifa é calculada a partir do registro da distância percorrida pelo motorista, dentro de um domínio de pedágio, por meio de uma <i>OBU</i> conectada eletronicamente ao hodômetro do veículo. Essa tecnologia não apresenta empasses quanto a privacidade.</p> <p>O sistema é complementado por dispositivos implantados à margem da via que, ao passar, a <i>OBU</i> passa ou deixa de contabilizar a distância rodada. De outra maneira, a coleta da distância percorrida pode ser manual em postos de fiscalização.</p> <p>A dificuldade está na definição e modificação da malha pedagiada; na baixa precisão da extensão percorrida (<math>\pm 4\%</math>); na <i>OBU</i> complexa e custosa; no fato da tecnologia ser pouco implementada, não havendo padronização; e na necessidade da aferição periódica dos equipamentos implementados.</p>

Fonte: CNT. Novas tecnologias de pagamento de pedágio, jun. 2020; 4ICOM & STEER DAVIES GLEAVE. Study on “State of the Art of Electronic Road Tolling”. 2015. European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, out. 2015; Steer, Davies, Gleave (2013) Development and Implementation of EU Road Cabotage, Steer, Davies, Gleave (2013) Development and Implementation of EU Road Cabotage; Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) (Autoridade de Rodovias com Pedágio da Indonésia), Roatex. Multi Lane Free-flow Toll Collection In Indonesia: Feasibility Study, April 2020; Grossi L, Spinelli G, Helmus S, Kool L, Pennings L, Stap R, Veugen T, Van Der Waaij B, Borean C, authors Maghiros I, Rotter P, Van Lieshout M, editors. RFID Technologies: Emerging Issues, Challenges and Policy Options. EUR 22770 EN.

Luxembourg (Luxembourg): OPOCE; 2007. JRC36957

As tecnologias têm as infraestruturas necessárias para a sua implantação apresentadas de forma resumida na Tabela 4.

**Tabela 4 – Infraestrutura de suporte necessária a cada tipo de tecnologia.**

Infraestrutura de Suporte	Tecnologia						
	Manual	ANPR	RFID	DSRC	GNSS	Smartphone	Tacógrafo
OBU			X	X	X	X	
Roadside Equipment	X		X	X			
Roadside Infrastructure	X		X	X			X
Roadside Communications	X		X	X			
Roadside Power	X		X	X			
Back Office/Central System		X	X	X	X	X	
Base de Dados de Placas		X					
Praça de Pedágio	X						
Cabines e Barreiras	X						
Operações com Dinheiro em Espécie	X						
Operações de Cobrança Back Office		X	X	X	X	X	X

Fonte: 4ICOM & STEER DAVIES GLEAVE. Study on “State of the Art of Electronic Road Tolling”. 2015. European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, out. 2015.

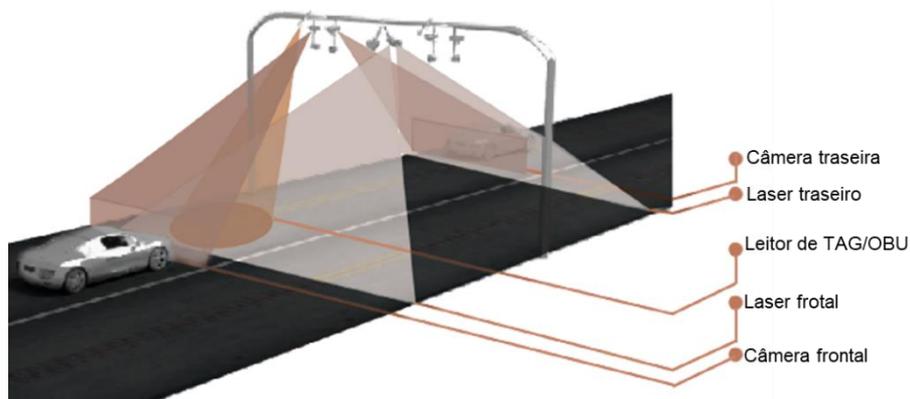
### 3.1.1.1.1 Infraestrutura na Via

A estrutura mais comum para a instalação dos dispositivos de monitoramento de veículos em sistemas RPAs são os pórticos. Estas estruturas são capazes de suportar os equipamentos sem a necessidade de apoios intermediários, mantendo a rodovia livre para o tráfego de veículos.

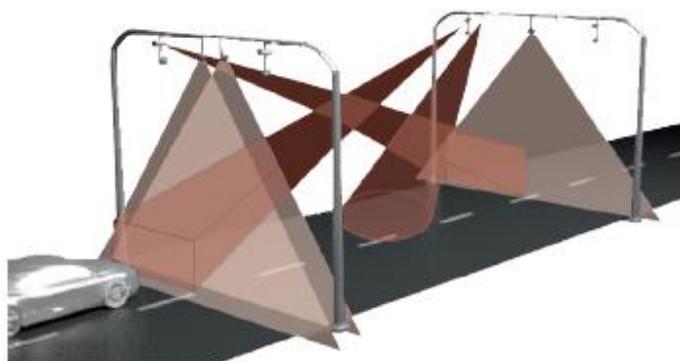
A Figura 7 apresenta as configurações para a disposição de pórticos em um ponto de cobrança. Embora soluções com multipórticos, ou seja, com 2 ou 3 pórticos em sequência, fossem justificadas pela identificação veicular de maneira mais concisa, a evolução tecnológica dos equipamentos e algoritmos tornou soluções com monopórticos tão precisas quanto, sendo também mais econômicas<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> <https://tecsidel.com/en/press/tecsidel-starts-its-first-mlff-single-gantry-project-in-sweden/>

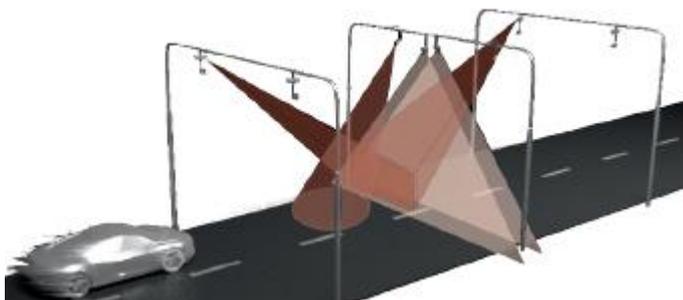
Figura 7 – Configurações de pórticos para sistemas RPA



**Monopórtico**



**2 pórticos**



**3 pórticos**

Fonte: [https://tecsidel.com/wp-content/uploads/2018/03/Product-Sheet-Free-Flow\\_EN.pdf](https://tecsidel.com/wp-content/uploads/2018/03/Product-Sheet-Free-Flow_EN.pdf)

A morfologia de cada pórtico pode variar, desde a configuração dos apoios ao tipo de elementos utilizados. A decisão decorre das necessidades e usos do pórtico: pórticos treliçados são mais custosos, mas possibilitam o acesso facilitado aos equipamentos; pórticos com dois apoios são mais caros, mas suportam maiores vãos e maior carga, como a de um letreiro luminoso. A Figura 8 apresenta algumas das possibilidades existentes.

**Figura 8 – Exemplo de pórticos utilizados para suporte de equipamentos de sistemas RPA.**



Pórtico treliçado com dois apoios



Pórtico tubular com dois apoios



Pórtico treliçado com um apoio



Pórtico tubular com um apoio



Pórtico treliçado T



Pórtico tubular T

Fonte: <https://www.itsinternational.com/its1/feature/gothenburgs-year-congestion-charging>

Soma-se a estes exemplos novas tecnologias, como dispositivos de monitoramento que podem ser instalados nas laterais das rodovias, exemplificado na Figura 9. Ainda, a Figura 10 ilustra um pórtico móvel, equipamento que possibilita a manutenção de pórticos fixos sem a causar pausas no sistema de cobrança e promovendo flexibilidade operacional.

**Figura 9 – Sistema lateral de monitoramento de veículos para sistemas RPA**



Fonte: [https://vicwebsite2019.cdn.prismic.io/vicwebsite2019/fd8e565f-e34c-44b4-9787-cf0daf01bbbb\\_VITRONIC-Tollchecker-Roadside.pdf](https://vicwebsite2019.cdn.prismic.io/vicwebsite2019/fd8e565f-e34c-44b4-9787-cf0daf01bbbb_VITRONIC-Tollchecker-Roadside.pdf)

**Figura 10 – Pórtico móvel utilizado na manutenção de pórticos fixos**



Fonte: <https://www.q-free.com/reference/portable-gantry-npra-oslo-norway-case-study/>

### 3.1.1.1.2 Custos de Implantação

Os custos associados implantação de sistemas de pedagiamento *free-flow* variam dependendo de diversas decisões tomadas ao longo do seu desenvolvimento. Será apresentado um cálculo simplificado, considerando apenas os custos de implantação primária (isto é, não considerando

qualquer tipo de *retrofit*) do sistema e destacando a sua sensibilidade ao passo em que a tarifa se torna cada vez mais pulverizada pela extensão pedagiada da rodovia.

Os custos de implantação são baseados no *workshop* sobre *free-flow* apresentado pela ARTESP, realizado em 9 de dezembro de 2019 pelo Ministério da Infraestrutura, por meio da Secretaria de Fomento, Planejamento e Parcerias (SFPP). A ARTESP é responsável pelo projeto piloto sobre *free-flow* no Brasil, mais bem descrito no item 3.1.3 e a rodovia aqui analisada é a SP-294 (que não participa deste projeto piloto). O trecho em estudo possui 332km de extensão, com tarifa quilométrica de  $\frac{R\$14,91}{100 km}$  (pista dupla), com 7 praças já implantadas (que será o cenário referencial). Na operação *free-flow*, a tecnologia considerada é a RFID e as premissas de custo são exibidas na Tabela 5.

**Tabela 5 – Custos de construção por ponto de cobrança para a operação bi direcional**

	Barreira	Free-Flow
Construção (R\$ mil)	7.500,00	200,00
Equipamentos (R\$ mil)	1.000,00	1.340,00
<b>Total (R\$ mil)</b>	<b>8.500,00</b>	<b>1.540,00</b>

Fonte: *Workshop* ARTESP

Estabelecendo uma tarifa ( $t_{m\acute{a}x}$ ) limite para cada p\ortico do sistema de pedagiamento *free-flow*, o n\umero de pontos de cobran\ca ( $n$ ), no caso, p\orticos, \e calculado por:

$$n = \frac{332 * \frac{14,92}{100}}{t_{m\acute{a}x}}$$

Naturalmente, o custo total de implanta\c\o \e o produto entre o n\umero de pontos de cobran\ca pelo custo unit\ario de implanta\c\o. Os resultados s\ao apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 – Custo total de implanta\c\o dos cen\arios de ped\agios com e sem barreiras**

	Barreira	Free-Flow		
Tarifa por P\ortico (R\$)	-	2,00	1,00	0,70
Pontos de Cobran\ca	7	25	50	70
Custo de Implata\c\o Unit\ario (RS mil)	8.500,00	1.540,00	1.540,00	1.540,00
<b>Total (R\$ mil)</b>	<b>59.500,00</b>	<b>38.500,00</b>	<b>77.000,00</b>	<b>107.800,00</b>

Fonte: Elabora\c\o LOGIT com base em *Workshop* ARTESP

Nota-se que o custo de implanta\c\o de sistemas *free-flow* pode tornar-se elevado, como observa-se para os cen\arios em que a tarifa por p\ortico \e de R\$1,00 e de R\$0,70, evidenciando a necessidade de racionaliza\c\o durante o planejamento.

### 3.1.1.2 Evas\o e Medidas de Mitiga\c\o

A evas\o de sistemas RPA se v\e facilitada uma vez que s\ao suprimidos da via os bloqueios destinados \a cobran\ca da tarifa. Mesmo que se associe a placa do ve\iculo ao pagamento, ainda se faz necess\ario o pagamento por parte do usu\ario, trazendo risco \a opera\c\o: apenas no Estado de S\ao

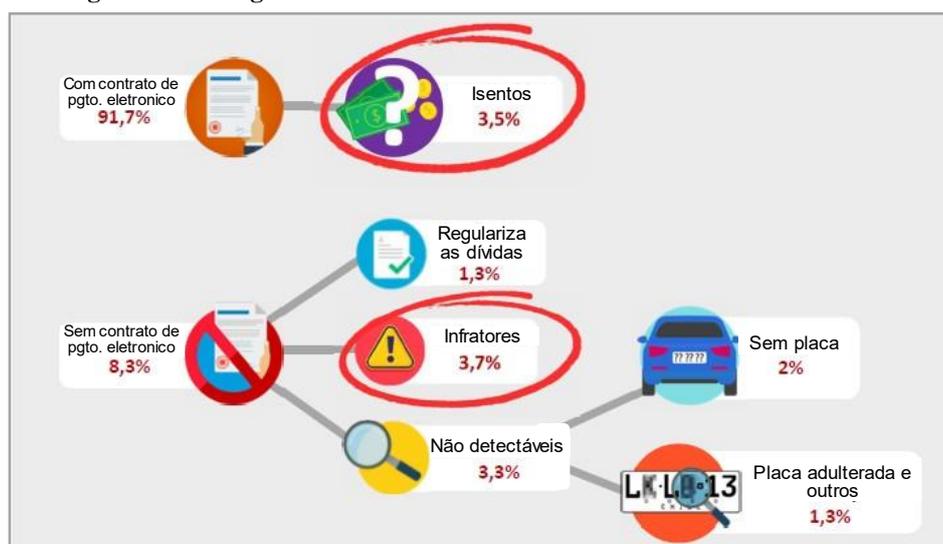
Paulo, 9,5 milhões de uma frota de 25,2 milhões de automóveis tinham seu licenciamento atrasado em 2020<sup>5</sup>.

Possivelmente o caso mais próximo ao cenário brasileiro é a experiência do Chile na implantação de sistemas RPA. Os resultados apresentados no Congresso ABCR de 2019<sup>6</sup> apontam que 64% da frota veicular chilena eram dotados de TAGs no ano da apresentação, sendo que das 14 concessões do país, 10 contam com sistema RPA (com outras 7 em construção que também utilizarão o sistema).

Dentre os usuários de pedágio eletrônico, cerca de 91,7% tinham contrato com as operadoras de pagamento eletrônico de pedágio do país, sendo 3,5% dos usuários isentos da cobrança. Dentre os 8,3% restantes, 1,3% regularizam o pagamento da tarifa por outros canais, enquanto 7% deixaram, de fato, de realizar o pagamento – configurando a evasão da cobrança. Entre estes 7% que deixam de pagar, 3,7% são configurados como infratores e 3,3% apresentam problemas ou a falta da placa. Estes valores são organizados na Figura 11.

Como medidas contra a evasão, são propostas duas linhas de ação. Uma se faz através de medidas legislativas e executivas, como a simplificação do processo de cobrança e aumento da fiscalização. Já outra ocorre através da expansão de tecnologias aos usuários, como a implementação de uma 3ª placa “inteligente”.

**Figura 11 – Infográfico sobre a taxa de evasão dos sistemas RPA no Chile**



Fonte: <https://abcr.org.br/images/congresso2019/Apresenta%C3%A7%C3%B5es/marcela-hernandez--1-.pdf>

Observando outra experiência com sistemas de cobrança sem barreira, a rodovia irlandesa M50 atestou, em 2013, cerca de 4% de evasão em um fluxo de 110.000 veículos diários. Aproximadamente 3% destes, porém, são associados a veículos registrados externamente ao país (1% na Irlanda do Norte e 2% em demais países).<sup>7</sup>

Ao custo inicial de 4% da receita anual, a fiscalização e aplicação de infrações é capaz de reaver 103% do valor devido por evasões, quando consideradas as receitas provenientes de multas. Como sugere o Gestor de Projetos da *National Roads Authority of Ireland* (NRA), Cathal Masteron,

<sup>5</sup> <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2021/09/21/estado-de-sp-tem-95-milhoes-de-veiculos-rodando-com-licenciamento-atrasado-e-que-podem-ser-apreendidos.ghtml>

<sup>6</sup> <https://abcr.org.br/images/congresso2019/Apresenta%C3%A7%C3%B5es/marcela-hernandez--1-.pdf>

<sup>7</sup> <https://www.irishexaminer.com/news/arid-20251193.html>

apesar de os custos da fiscalização consumirem quase toda a receita da própria operação, “em nossa experiência é melhor começar grande e reduzir o esforço total do que começar pequeno”.<sup>8</sup>

Ainda no âmbito da fiscalização, o estudo de viabilidade da implantação de RPAs na Indonésia propõe atividades chave para esta operação:

- Informação contínua de veículos trafegando sem autorização;
- Veículos sem OBU;
- Veículos com débitos associados;
- Prover as informações necessárias para as unidades de fiscalização (placa, localização, foto etc.);
- Esforço para realizar a cobrança no local da infração;
- Cobrança fora do local da infração executada pelas unidades de fiscalização;
- Em caso de insucesso da cobrança pelas unidades de fiscalização, transferir as informações necessárias à polícia para a execução da cobrança;
- Em caso de insucesso da cobrança pela Polícia, a cobrança deve ser realizada na inspeção anual do veículo.

A possibilidade de evasão pode ser um dos maiores empasses para a implantação de um sistema *free-flow* no Brasil, sendo de crucial importância a busca pelas formas atenuação já implementadas em países que adotam esta tecnologia.

### 3.1.2 Panorama Internacional

#### 3.1.2.1 Países com RPA

A adoção de sistemas RPA é crescente e ganha velocidade nos últimos anos. A Figura 12 apresenta os países europeus que adotavam o sistema em 2005 e a previsão de países que deve contar o modelo em 2025, exaltando o crescimento.

---

<sup>8</sup> <https://www.itsinternational.com/its1/its2/feature/robust-enforcement-strategy-needed-free-flow-toll-roads>

**Figura 12 – Países europeus que adotavam o sistema RPA em 2005 e a previsão de países que deve contar o modelo em 2025**



Fonte: <https://bpjt.pu.go.id/uploads/files/133/47c468ae4c5802f9502835e6f738c6b7.pdf>

A Tabela 7 descreve a situação de alguns países ao redor do mundo que contam com sistemas de pedágio aberto.

**Tabela 7 – Exemplos de países com experiências em sistemas RPA.**

País	Experiência
Chile <sup>9</sup>	A experiência chilena foi pioneira na América do Sul, em 2004, com sistemas de cobrança <i>free-flow</i> no perímetro urbano de Santiago. A cobrança é realizada através de pórticos dispostos ao longo da rodovia e <i>transponders</i> DSRC instalados nos veículos. Os <i>transponders</i> são disponibilizados pelas concessionárias mediante pagamento mensal e são compatíveis entre as concessões do país. Na falta do <i>transponder</i> , a utilização de ANPR permite o pagamento através dos canais eletrônicos das concessionárias ao informar a placa do veículo. A tarifação é a mesma caso o pagamento seja realizado em até 72 horas nas vias rurais, implicando em multas caso não seja realizado neste prazo. Nas vias urbanas há a obrigação de uso do <i>transponders</i> , com a possibilidade de uso esporádico sem o equipamento de até 20 vezes ao ano.
Brasil	No Brasil, foi desenvolvido um projeto piloto de sistema <i>free-flow</i> em 4 rodovias do Estado de São Paulo em 2012. Em 2011 foi estabelecido o padrão RFID 915MHz, através da portaria CONTRAN nº 570, de 26 de junho do mesmo ano.
Argentina <sup>10</sup>	Os pedágios da região de Buenos Aires, em 2018, iniciaram a cobrança por <i>free-flow</i> , com a tecnologia RFID (interoperável no país todo). Na falta do OBU, o pagamento pode ser realizado posteriormente pela internet, identificando os usuários através da placa (incidindo taxa adicional nestes casos).
Equador <sup>11</sup>	Desde julho de 2020 funciona a cobrança <i>free-flow</i> em um dos acessos rodoviários de Quito, funcionando tanto com RFID quanto DSRC. Usuários sem o equipamento devem realizar o pagamento fisicamente ao informar a placa do veículo, permitido pela adoção do sistema ANPR, também.

<sup>9</sup> <https://www.agenciainfra.com/blog/sistema-free-flow-em-pedagio-no-chile-enfrenta-quase-10-de-inadimplencia/>

<sup>10</sup> <https://www.ansa.com.ar/tarifas/>

[https://www.clarin.com/brandstudio/autopistas-barreras-funcionan-beneficios\\_0\\_BFyjPTT7.html](https://www.clarin.com/brandstudio/autopistas-barreras-funcionan-beneficios_0_BFyjPTT7.html)

<sup>11</sup> <https://www.kapsch.net/en/ktc/info-point/press/ktc-20201117-pr-en>

País	Experiência
Canadá <sup>12</sup>	<p>Conhecida como uma das rodovias mais congestionadas do mundo, a 407ETR é localizada no contorno de Toronto. Foi a primeira rodovia com sistema <i>free-flow</i> no mundo, implantado em 1997 com cobrança totalmente eletrônica, de tarifa variável de acordo com congestionamento.</p> <p>A tarifa é diferenciada para situações em que é conhecido o local de entrada e saída do veículo e quando é desconhecida, isto é, para veículos com ou sem <i>OBU</i>, respectivamente. O uso da <i>OBU</i> com tecnologia <i>DSRC</i> é obrigatório para veículos pesados e opcional para leves, mediante cadastro da placa no sistema da concessionária e uso da tecnologia <i>APNR</i>. A <i>ANPR</i> tem maior tarifa do que <i>DSRC</i>, em veículos leves.</p>
EUA <sup>13</sup>	<p>A primeira implementação de sistemas de cobrança eletrônica nos Estados Unidos é na Dallas North Tollway, via urbana de Dallas. Inicialmente, usuários aderidos ao sistema de pagamento eletrônico recebiam pagavam uma pequena taxa, mas que em 1999 foi revogada, passando a ser aplicado um desconto. Em dezembro de 2010, o sistema passou a funcionar integralmente de maneira eletrônica. A tecnologia utilizada é a <i>RFID</i> ou <i>DSRC</i>, com suporte ao <i>ANPR</i>. Pagamento pela placa do veículo são acrescidos de uma taxa operacional.</p> <p>Nos arredores de Orlando ocorre a transição do sistema de pedagiamento manual para o sistema <i>free-flow</i> das rodovias. Existem benefícios para os usuários da <i>TAG</i>, como descontos de tarifas e parcerias com outras empresas, embora o pagamento através da tecnologia <i>ANPR</i> seja possível.</p> <p>Dentre as <i>TAGs</i>, ainda existem opções <i>RFID</i>, mais barata e com menos funções, e <i>DSRC</i>, com mais funcionalidades, como a utilização em mais de um veículo e maior interoperabilidade com outras rodovias pedagiadas.</p> <p>Existem mais sistemas <i>free-flow</i> sendo implantados no país, como em Nova Iorque e Illinois e na própria Flórida, todos os exemplos baseados em tecnologias de identificação por <i>RFID/DSRC</i> e com suporte por <i>APNR</i>.</p>
Portugal <sup>14 15</sup>	<p>Com trajetória iniciada em 1991 no desenvolvimento de sistemas de pagamento eletrônico, Portugal se consolida como um dos primeiros países a integrar sua malha viária com sistemas de cobrança eletrônicos.</p> <p>Em 2006, iniciou-se o pedagiamento segundo o sistema <i>free-flow</i>, em que a cobrança é realizada através de pórticos dispostos ao longo da rodovia e <i>transponders DSRC</i> instalados nos veículos. No mercado nacional, os <i>transponders</i> são disponibilizados por apenas uma empresa especializada neste tipo de pagamento, mas há interoperabilidade por equipamentos de outros países vizinhos.</p> <p>Na falta do <i>transponder</i>, a utilização de <i>ANPR</i> permite o pagamento através de canais eletrônicos ou físicos (postos de correio, por exemplo) ao informar a placa do veículo, mas acarreta na adição de taxas ao valor da tarifa original. Visitantes podem realizar um cadastro prévio, assim o pagamento pode ser realizado através de cartões de crédito, vales ilimitados por período ou através de contas pré-pagas.</p>
Bielorrússia <sup>16</sup>	<p>A Bielorrússia implantou o sistema <i>free-flow</i> em grande parte de sua malha rodoviária desde 2013. A cobrança é realizada através de pórticos dispostos ao longo da rodovia e <i>transponders DSRC</i> instalados nos veículos. Os <i>transponders</i> são disponibilizados através de um programa centralizado, mediante o pagamento de um depósito de segurança, e não são compatíveis com a malha nacional de outros países, ainda que utilizem o mesmo sistema.</p> <p>Existe a obrigação do uso do <i>transponder</i> para veículos pesados, implicando em autuações pelo não uso ou mesmo uso incorreto (a primeira cobrança pode ser paga manualmente, com adição de taxa).</p>
Espanha <sup>17 18</sup>	<p>Em 2017 foi implantada na AP-7 o primeiro pedágio <i>free-flow</i> em território espanhol. Em agosto de 2021, porém, a concessão foi dissolvida, sendo o pedágio desativado.</p> <p>O serviço utilizava tecnologia <i>DSRC</i> e era compatível com o sistema de pagamento eletrônico já existente nas praças de pedágio convencionais do país.</p>

<sup>12</sup> <https://www.ferrovial.com/es-es/negocio/proyectos/407-etr/>

<sup>13</sup> <https://www.cfxway.com/e-pass/about-e-pass/>

<sup>14</sup> <https://www.viaverde.pt/particulares/quem-somos>

<sup>15</sup> <https://www.pagamentodeportagens.pt/Help.aspx>

<sup>16</sup> <https://beltoll.by/en/beltoll-system>

<sup>17</sup> <https://www.abertis.com/en/the-group/about-abertis/latest-news/931>

<sup>18</sup> [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/08/31/companias/1630433742\\_059172.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/08/31/companias/1630433742_059172.html)

País	Experiência
Suíça	Em uso desde 2001, a Suíça é um dos únicos países em que é aplicado o sistema de tacógrafo para a cobrança de pedágio, estando a transição para GNSS em andamento. Toda a malha rodoviária é tarifada para veículos pesados. A transferência das leituras às autoridades fiscais é realizada ao final de cada mês ou através de equipamentos distribuídos pelo país que são capazes de realizar a leitura das informações contidas nas <i>OBUs</i> . Nas fronteiras, existem postos de fiscalização para veículos estrangeiros e equipamentos que ativam e desativam a contabilização da distância percorrida pelas <i>OBUs</i> .
Suécia <sup>19</sup>	O pedagiamento urbano de Estocolmo se iniciou em 2006, é baseado em ANPR. O sistema é atrelado ao sistema bancário sueco. De outra maneira, é enviada uma fatura ou a operadora do sistema DSRC é responsável pela transação.
Inglaterra	A implementação do pedágio urbano em Londres é realizada através da tecnologia <i>ANPR</i> desde 2003 (Londres). O pagamento deve ser realizado adiantado ou até o fim do 3º dia após a viagem.
Alemanha	O pedagiamento das rodovias na Alemanha é feito em toda a malha nacional, apenas para os veículos pesados, e é baseado em GNSS. Na falta da <i>OBU</i> , o pagamento pode ser realizado através do portal de pagamento, aplicativo ou em terminais físicos.
Singapura <sup>20 21</sup>	O sistema de pedagiamento de Singapura, iniciado em 1975, é baseado em <i>transponders</i> DSRC desde 1998, sendo o uso do equipamento obrigatório e acarretando multa em sua falta. Para fiscalização, é utilizado o sistema ANPR. Atualmente, há a transição do sistema para a tecnologia <i>GNSS</i> , com previsão de conclusão no meio de 2023.
Malásia e Indonésia	Ambos apresentam estudos e projetos piloto para a implementação de sistemas <i>free-flow</i> , sendo as tecnologias consideradas a DSRC (Malásia) e GNSS (Indonésia).
Austrália	Desde 2013, todas as vias pedagiadas do país operam em regime <i>free-flow</i> , com início do uso de sistemas sem barreiras ocorrendo em 2009. O sistema é baseado em DSRC e ANPR, com este último implicando na adição de taxa administrativa.
Nova Zelândia <sup>22</sup>	O sistema de pedagiamento <i>free-flow</i> neozelandês se iniciou em 2015 e é baseado puramente na tecnologia ANPR e lasers para a categorização veicular. O pagamento pode ser realizado em postos físicos, através da conta digital oferecida pelo serviço (a qual podem ser associados diversos veículos), ou pelo recebimento da conta no domicílio em que o veículo está registrado. Para cada rodovia pedagiada, é oferecida uma rota alternativa sem tarifas.

Fonte: Elaboração LOGIT com base em documentos e apresentações públicas

### 3.1.2.2 Estratégias de Implantação de Sistemas RPA

Os sistemas de rodovias com pedágio *free-flow* são normalmente acompanhados de estratégias que permitam a transição a partir do modelo de cobrança com barreiras, seja pela infraestrutura física, mecanismos para realizar o pagamento ou mesmo políticas de incentivo ao uso de equipamentos de identificação automática.

A Figura 13 exemplifica praças em que ocorre a cobrança com e sem barreiras paralelamente. Observa-se em (d) que os locais onde encontravam-se as cabines de cobrança ainda existem entre as faixas de rolamento, indicando o *retrofit* da infraestrutura.

<sup>19</sup> <https://www.roadtraffic-technology.com/projects/stockholm-congestion/>

<sup>20</sup> <https://onemotoring.lta.gov.sg/content/onemotoring/home/driving/ERP/ERP.html>

<sup>21</sup> <https://www.zdnet.com/article/singapore-readies-satellite-road-to-ll-system-for-2021-rollout/>

<sup>22</sup> <https://www.itsinternational.com/its4/its1/news/electronic-tolling-coming-new-zealand-2015>

<https://www.nzta.govt.nz/roads-and-rail/toll-roads/toll-road-information/how-electronic-tolling-works/>

Na Figura 14 são apresentados portais de pagamentos pela *internet* para os usuários que não dispõem de *OBU*, apoiando-se apenas na tecnologia *ANPR*. Há sistemas que exigem o mínimo de informação, como em (a), em que apenas a placa do veículo é suficiente para a realização do pagamento, ou que pedem maior identificação do usuário, como em (d), em que é preciso a confirmação da identidade.

Já a Figura 15 destaca as vantagens associadas para usuários que dispõem de *OBU*, como evitar filas (a) ou a oferta de descontos em outros serviços (b). Ainda, na Figura 16, apresentam-se formas de lidar com a classificação veicular, como através da seleção manual pelo usuário em (a) e (c) ou automática, como ilustrado em (b) e (d).

**Figura 13 – Praças de cobrança mista entre com e sem barreiras**



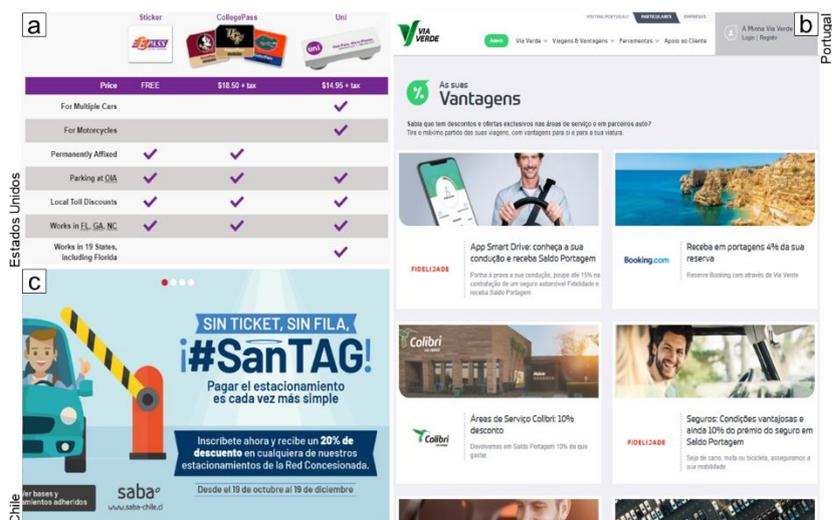
Fonte: a) Via Verde, Portugal; b) Rodovia La Roca, Espanha (concessão dissolvida); c) OCEA, Estado Unidos; d) Via Verde, Portugal.

**Figura 14 – Portais de pagamento de tarifa para usuários sem OBU**



Fonte: a) Autopistas Urbanas, Argentina; b) Portal de Pagamento de Portagens, Portugal; c) Autopase, Chile; d) E-Pass, Estados Unidos.

**Figura 15 – Vantagens associadas ao uso de OBU**



Fonte: a) E-Pass, Estados Unidos; b) Via Verde, Portugal; c) SABA, Chile.

**Figura 16 – Definição da categoria veicular**



Fonte: a) Tacógrafo, Continental; b) Identificação Lidar, Sick; c) Go-Box, Austria; d) Digitalização de veículos, Intertraffic.

### 3.1.3 RPA no Brasil

#### 3.1.3.1 Legislação

Os maiores empassos para a implantação de RPAs no Brasil são a identificação eletrônica de todos os veículos da frota nacional e o alto risco de evasão da cobrança da tarifa.

Os esforços para a criação de um sistema nacional de identificação eletrônica de veículos se iniciam com a resolução CONTRAN nº 212 de 13 de novembro de 2006, que dispõe sobre a implementação do Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos (SINIAV). O sistema deveria funcionar por meio de rádio frequência.

O programa visava ser obrigatório, impedindo o licenciamento de veículos não equipados com o dispositivo de identificação na placa. No texto não há especificidade sobre a tecnologia, apenas

sobre os requisitos operacionais, tardando até 2011 para ser estabelecido o padrão RFID 915MHz, através da portaria CONTRAN nº 570, de 26 de junho do mesmo ano.

Desde então, mediante deliberações, revogações e novas resoluções, o SINIAV perdeu o prazo de conclusão na resolução CONTRAN nº 537, de 17 de junho de 2015.

Ainda em 2011, porém, a Resolução SLT<sup>23</sup> SP Nº 13, de 8 de novembro estabelece o padrão do SINIAV para a cobrança eletrônica de pedágios nas rodovias do Estado de São Paulo, exigindo interoperabilidade do sistema e proibindo a comercialização de equipamentos de equipamentos que não atendam ao padrão estabelecido. Após mais de 2 anos, a resolução ANTT Nº 4.281, de 17 de fevereiro de 2014 aplica o mesmo padrão para todas as rodovias federais pedagiadas.

Recentemente, foi sancionada em 1 de junho de 2021 a lei nº 14.157<sup>24</sup>, visando estabelecer condições para a implementação de sistemas de cobrança de pedágio aberto em rodovias, isto é, totalmente eletrônicos. O texto aborda:

- O Código de Trânsito Brasileiro (Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997):
  - Inclui o § 10 no Art. 115, responsabilizando o CONTRAN por estabelecer os meios técnicos (e de uso obrigatório) para a identificação dos veículos em RPAs;
  - Altera o art. 209, tornando infrações transpor bloqueios viários ou deixar de adentrar áreas de pesagem, bem como a evasão ou deixar de efetuar da forma estabelecida o pagamento da cobrança de pedágio.
  - Inclui o § 3º no art. 320, limitando o montante repassado às concessionárias do total arrecadado através de multas aplicadas com fundamento no art. 209-A do Código de Trânsito Brasileiro.
- A Lei nº 10.233, de 5 de junho de 2001, sobre a reestruturação dos transportes aquaviário e terrestre:
  - Altera o § 2º do art. 26, adicionando que a tarifa de pedágio deve guardar maior proporcionalidade com a distância percorrida;
  - Altera o XVII do art. 24, responsabilizando a ANTT de exercer contra a infração prevista no art. 209-A do Código de Trânsito Brasileiro.

Embora a implantação do SINIAV não tenha apresentado sucesso, a padronização tecnológica imposta de maneira paralela para sistemas de cobrança eletrônica é de crucial importância para o êxito da operação de RPAs. Em outra esfera, a segurança jurídica necessária à operação destes sistemas, como a forma de lidar com a evasão de usuários, ganha melhor sustento no ano de 2021, apesar de ainda não ser plenamente madura.

### 3.1.3.2 Prática

A experiência brasileira com concessões rodoviárias data de 1996, com a ponte Rio-Niterói e a Rodovia Presidente Dutra. Desde então, o país atingiu a marca de 68 concessões, correspondendo a 23.320 quilômetros de rodovias até dezembro de 2020.

Embora a tecnologia de cobrança automática de pedágios já existisse em 1996, a primeira implantação em território nacional ocorreu em junho de 2000, abrangendo 11 rodovias do Estado de São Paulo. Atualmente, todas as rodovias pedagiadas do país aceitam pagamentos eletrônicos de

<sup>23</sup> Secretaria de Logística e Transportes

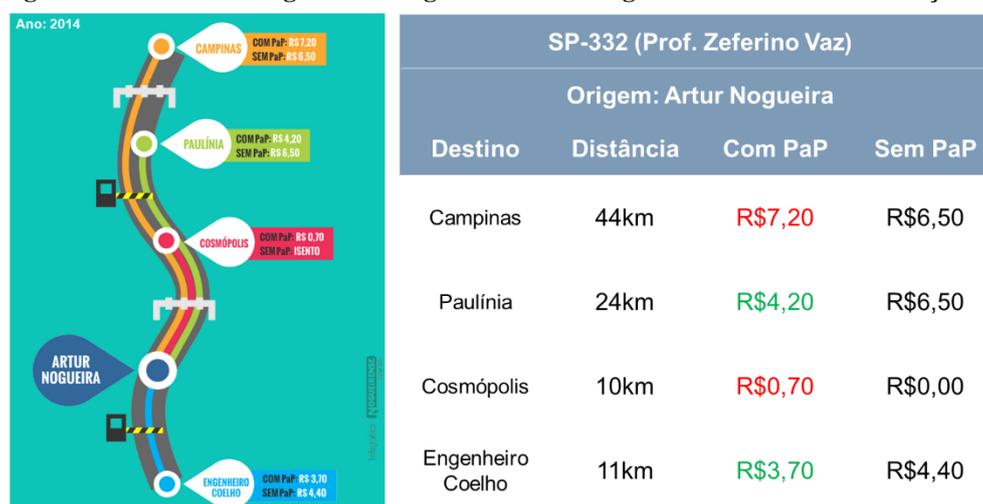
<sup>24</sup> <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.157-de-1-de-junho-de-2021-323553438>

todas as Operadoras de Sistema de Arrecadação (OSA) e utilizam a tecnologia de etiquetas RFID 915MHz, com 57% dos pagamentos realizados eletronicamente nas rodovias de São Paulo no ano de 2019.<sup>25 26</sup>

Apesar de automáticos, estes sistemas contam com barreiras físicas que exigem a redução de velocidade dos usuários. Como projeto piloto, uma iniciativa da ARTESP<sup>27</sup> começou em 2012 instituiu o programa “Ponto a Ponto” (PaP), instaurando um sistema de RPA em 4 rodovias do Estado de São Paulo: Engenheiro Constâncio Cintra (SP-360), em 2012, Santos Dumont (SP-075), em 2012, Governador Adhemar Pereira de Barros (SP-340), em 2013, e na Prof. Zeferino Vaz (SP-332), em 2014.

Esta modalidade de cobrança é a penas disponibilizada para usuários que se inscreverem e limitada a residente de municípios adjacentes às rodovias (exceto a SP-340, em que qualquer usuário pode realizar a inscrição). O sistema permite a cobrança com maior proporcionalidade à distância percorrida pelo usuário, como destacado na Figura 17, embora torne obrigatório, para usufruir deste benefício, o uso da *OB* de qualquer uma das OSAs, mais conhecida como TAG.

**Figura 17 – Custo da viagem com origem em Artur Nogueira com e sem a cobrança PaP**



Fonte: <https://nogueirense.com.br/economia-pelo-sistema-ponto-a-ponto-dependera-do-trajeto-percorrido/>

Seu funcionamento é baseado na tecnologia RFID 915MHz, mesma utilizado nos demais sistemas de pedagiamento eletrônico do país, mas a leitura é realizada por meio de pórticos dispostos estrategicamente ao longo da rodovia (Figura 18), sem exigir a redução de velocidade dos veículos.

<sup>25</sup> <https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2019/04/05/cobranca-automatica-de-pedagio-saiba-como-funciona-nas-estradas-do-brasil.htm>

<sup>26</sup> [https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/modes/road/road\\_charging/doc/study-electronic-road-tolling.pdf](https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/modes/road/road_charging/doc/study-electronic-road-tolling.pdf)

<sup>27</sup> <https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/bf8665da-3e39-45cf-9fbd-2dbbafc9ddd4.pdf>

Figura 18 – Pórtico do PaP na Rodovia SP-360, em Itatiba.



Fonte: <https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/apos-seis-anos-pedagio-ponto-a-ponto-chega-a-1477-mil-adesoes-mas-ampliacao-esbarra-em-contratos-antigos.ghtml>

Até 2017, eram inscritos no programa 147,7 mil usuários, discriminados por rodovia na Tabela 8. Os valores são abaixo da estimativa de usuários que seriam beneficiados pelo sistema, de 200 mil para a SP-332 e 1,6 milhão para a SP-240. Segundo a ARTESP, a experiência internacional aponta que a cobrança por trecho plenamente eletrônico é viável quando ao menos 80% dos usuários são cadastrados no sistema, sendo a adoção no Estado de São Paulo de 56%, em 2017.

Tabela 8 – Usuários do sistema PaP no ano de 2017

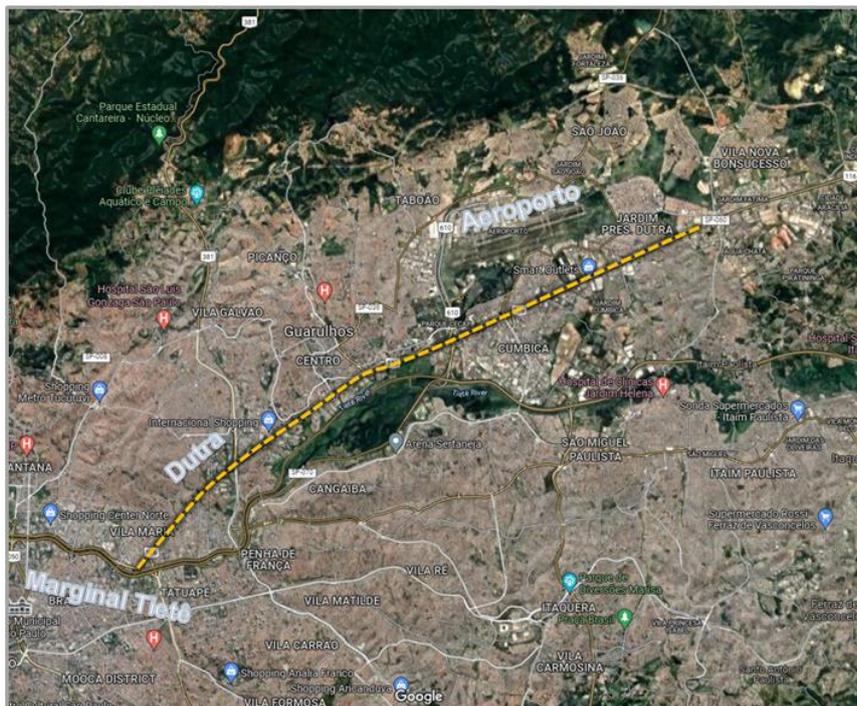
Rodovia	Ano de implantação	Cadastrados
SP-360	2012	503
SP-075	2012	16.255
SP-340	2013	126.985
SP-332	2014	4.052

Fonte: <https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/apos-seis-anos-pedagio-ponto-a-ponto-chega-a-1477-mil-adesoes-mas-ampliacao-esbarra-em-contratos-antigos.ghtml>

Passada quase uma década do início do projeto “Ponto a Ponto” no Estado de São Paulo, a reconcessão da BR-116 (Rodovia Presidente Dutra) será a primeira a contar com o sistema *free-flow* desde o início de seu contrato<sup>28</sup>. A implementação do sistema ocorrerá nas vias expressas do trecho metropolitano de São Paulo (km 204 a 230 da BR-116/SP, vide Figura 19), com previsão de início de sua operação no 37º mês da concessão (ano de 2025).

<sup>28</sup> <https://portal.ant.gov.br/br-116-101-sp-rj>

**Figura 19– Trecho em que será adotado o *free-flow* na BR-116, em São Paulo**



Fonte: Elaboração LOGIT.

O objetivo de da utilização do *free-flow* é otimizar a utilização da infraestrutura existente, visando manter padrões de Nível de Serviço adequados, assim configurando um sistema de *managed lanes*. A Figura 20 exemplifica a seção transversal de uma rodovia com este sistema implementado.

**Figura 20 – Ilustração da Seção Transversal de Sistema de *Managed Lanes***



Fonte: Elaboração LOGIT..

Ainda sem definição de qual será a principal tecnologia principal utilizada para a aferição dos usuários, o contrato indica a obrigatoriedade de que usuários que não dispuserem de equipamentos AVI (*Automatic Vehicle Identification*, isto é, tecnologias de identificação de veículos em geral, como RFID, DSRC, GNSS) sejam contemplados por meio de sistema de reconhecimento da placa do veículo. O programa de concessão considerou que cada pórtico para duas faixas do sistema contemple, ao menos:

- Câmeras para Front ANPR + Frontal Context;
- Câmeras para Rear ANPR + Rear Context;
- Radares;
- Detectores Laser;
- Cameras of Axles Left Side and Right Side;
- 2 câmeras de vigilância distantes antes e depois;
- Detectores no pavimento;

- Software para processamento de imagens;
- Software para monitoramento e supervisão dos pórticos;
- Software para auditoria do registro de passagens;
- Geradores de energia elétrica (compartilhável entre múltiplos pórticos).

Como exigência do contrato, embora pouco específico, deve haver contadores automáticos, medidores de velocidade, displays indicadores de tarifa e demais equipamentos necessários à viabilização do *free-flow* no trecho metropolitano.

## 4 ETAPA 2: AQUISIÇÃO DE MATRIZ DE VIAGENS URBANAS BASEADO EM DADOS DE TELEFONIA

### 4.1 Levantamento de dados

#### 4.1.1 Contagem Volumétrica Classificatória (CVC)

Neste capítulo são abordadas as atividades referentes à contagem volumétrica classificatória (CVC) feita para este estudo, cujos dados processados são insumo para o desenvolvimento do modelo de transportes utilizado no estudo.

##### 4.1.1.1 Planejamento e Localização dos Postos De Pesquisa

Para a definição dos postos e do cronograma das pesquisas, foram consideradas diversas premissas buscando assegurar a qualidade dos dados obtidos e conciliar as restrições práticas com os recursos financeiros e temporais disponíveis, dentre as quais destacam-se:

- Abrangência espacial a todo o trecho em estudo;
- Permitir a compreensão da contribuição dos principais eixos rodoviários, polos geradores e aglomerações urbanas ao tráfego da Rodovia Fernão Dias;
- Garantir a compatibilização entre diferentes postos de pesquisa, para expansão e validação cruzada;
- Evitar a realização de pesquisas em postos e datas afetados por feriados e festividades locais; e
- Adequar-se ao cronograma do Estudo de Tráfego e, finalmente, ao cronograma da estruturação do Projeto.

No contexto do estudo de áreas metropolitanas densamente ocupadas e com rede viária similarmente densa e capilar, o levantamento de dados deve, idealmente, ser tão abrangente e detalhado quanto possível. Para garantir a eficiência do emprego de recursos e a exequibilidade financeira e tempestiva da campanha de levantamentos de campo, buscou permitir a compreensão macroscópica dos fluxos de tráfego nos diversos períodos do dia na rodovia e seu entorno.

Ainda que não monitore individualmente cada uma das vias relevantes no entorno da Rod. Fernão Dias, a campanha de levantamentos de campo proposta e realizada monitora a variação do tráfego ao longo da rodovia entre os principais entroncamentos e aglomerações urbanas presentes, permitindo a compreensão das principais contribuições de tráfego e dos padrões de viagens existentes na área de estudo.

Outro fator considerado no planejamento foi a quantidade de dias em que cada posto devia ser pesquisado, de modo a maximizar a abrangência espacial da campanha de levantamento sem demandar de forma excessiva a realização dos estudos do ponto de vista financeiro e/ou temporal.

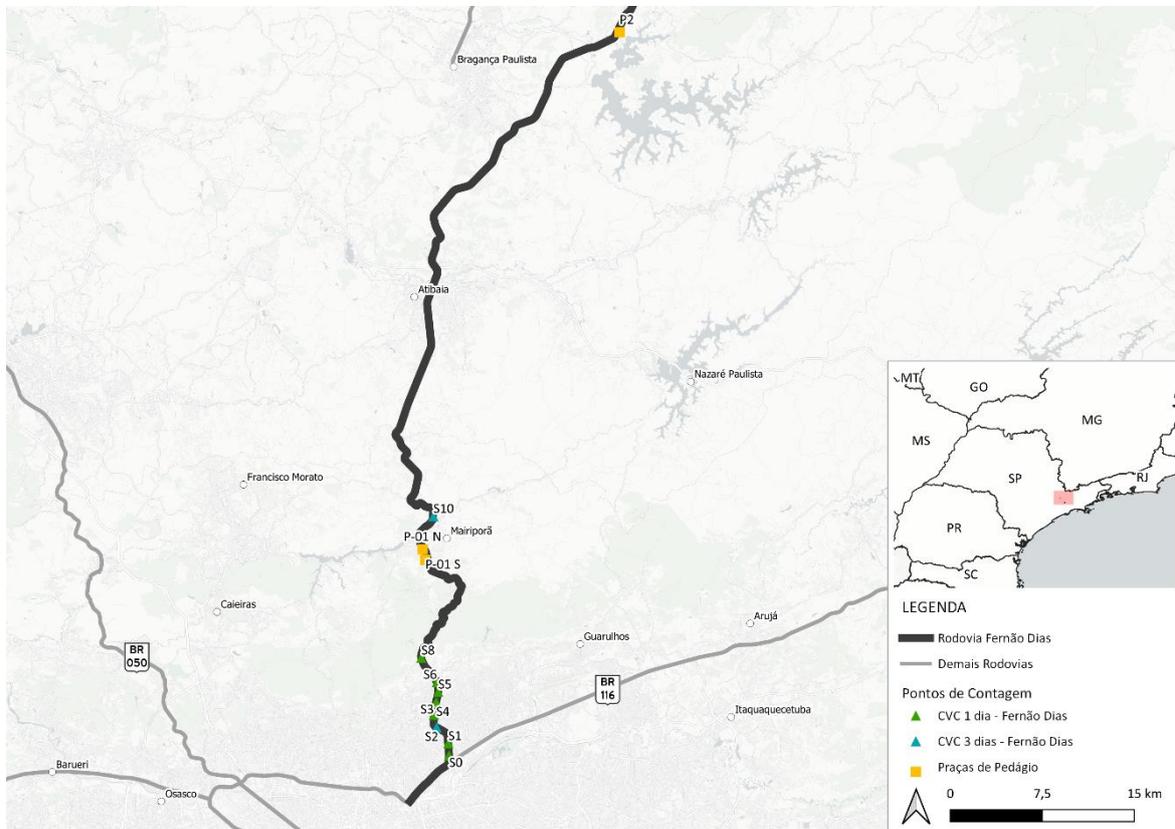
Para tanto, foi definido que determinados postos-chave seriam pesquisados os sete dias da semana, enquanto os outros seriam pesquisados apenas alguns dias da semana. Dessa forma, os comportamentos nos dias da semana não abrangidos pelo levantamento seriam estimados a partir de

extrapolação, com base no comportamento semanal observado nos postos-chave. O cálculo da extrapolação é detalhado no item 4.1.1.2.

O número de postos de pesquisa foi definido de forma a permitir a caracterização detalhada do perfil volumétrico e comportamental das viagens ao longo do trecho estudado. Foram definidos 9 postos de pesquisa no estudo da RMSP – totalizando 25 posições de contagem, conforme apresentado na Figura 21 e listado na Tabela 9 – e 12 postos de pesquisa no estudo da RMBH – totalizando 31 posições de contagem, conforme apresentado na Figura 22 e listado na Tabela 10.

Pode-se observar que na RMSP alguns pontos de contagem são de um estudo anterior realizado na Rod. Pres. Dutra, e se situam majoritariamente ao longo do eixo da Dutra e ao longo da Rodovia Ayrton Senna (eixo rodoviário paralelo e complementar), com alguns pontos localizados em torno da Rodovia Fernão Dias e da Marginal Tietê. Os demais pontos, levantados para este estudo, se localizam ao longo da Autopista Fernão Dias.

**Figura 21 – Localização dos postos de Contagem Volumétrica Classificatória (CVC) na RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

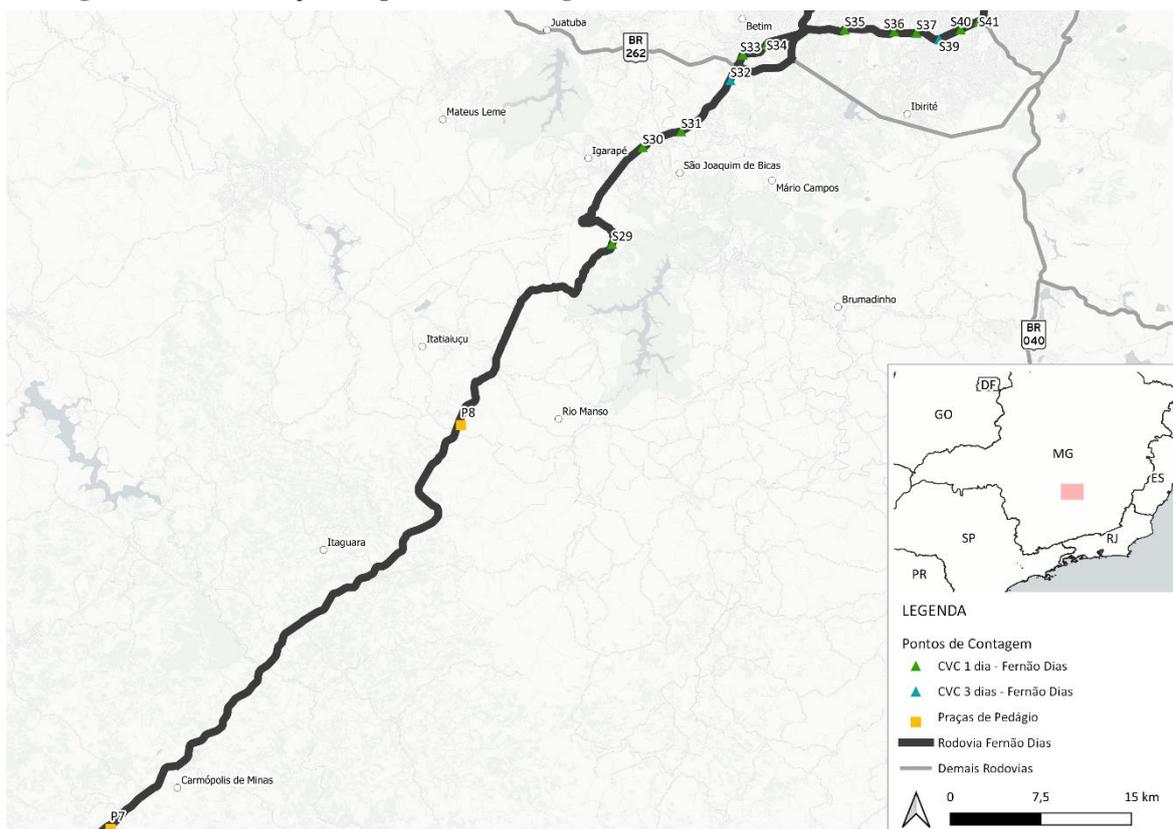
**Tabela 9 – Postos de coleta no estudo da RMSP e suas respectivas localizações e sentidos**

Posto	Localização	Sentido
S0_1	Rod. Fernão Dias - Pista Local, Km 90	SP/MG
S0_2	Rod. Fernão Dias - Pista Marginal, Km 90	SP/MG
S0_3	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 90	SP/MG
S0_1	Rod. Fernão Dias - Pista Marginal, Km 90	MG/SP
S0_2	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 90	MG/SP
S1_1	Rod. Fernão Dias - Pista Marginal, Km 89	SP/MG
S1_2	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 89	SP/MG
S1_1	Rod. Fernão Dias - Pista Marginal, Km 89	MG/SP

Posto	Localização	Sentido
S1_2	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 89	MG/SP
S2_1	Rod. Fernão Dias - Pista Marginal, Km 87	SP/MG
S2_2	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 87	SP/MG
S2_1	Rod. Fernão Dias - Pista Marginal, Km 87	MG/SP
S2_2	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 87	MG/SP
S3_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 85	SP/MG
S3_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 85	MG/SP
S4_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 84	SP/MG
S4_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 84	MG/SP
S5_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 83	SP/MG
S5_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 83	MG/SP
S6_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 82	SP/MG
S6_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 82	MG/SP
S8_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 80	SP/MG
S8_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 80	MG/SP
S10_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 63	SP/MG
S10_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 63	MG/SP

Fonte: Elaboração LOGIT

Figura 22 – Localização dos postos de Contagem Volumétrica Classificatória (CVC) na RMBH



Fonte: Elaboração LOGIT

Tabela 10 – Postos de coleta no estudo da RMBH e suas respectivas localizações e sentidos

Posto	Localização	Sentido
S29_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 522	SP/MG
S29_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 522	MG/SP

Posto	Localização	Sentido
S30_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 509	SP/MG
S30_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km509	MG/SP
S31_1	Rod. Fernão Dias - Pista Marginal, Km 506	SP/MG
S31_2	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 506	SP/MG
S31_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 506	MG/SP
S32_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 499	SP/MG
S32_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 499	MG/SP
S33_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 497	SP/MG
S33_1	Rod. Fernão Dias - Pista Marginal, Km 497	MG/SP
S33_2	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 497	MG/SP
S34_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 494	SP/MG
S34_1	Rod. Fernão Dias - Pista Marginal, Km 494	MG/SP
S34_2	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 494	MG/SP
S35_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 487	SP/MG
S35_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 487	MG/SP
S36_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 483	SP/MG
S36_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 483	MG/SP
S37_1	Rod. Fernão Dias - Pista Marginal, Km 481	SP/MG
S37_2	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 481	SP/MG
S37_1	Rod. Fernão Dias - Pista Marginal, Km 481	MG/SP
S37_2	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 481	MG/SP
S39_1	Rod. Fernão Dias - Pista Marginal, Km 479	SP/MG
S39_2	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 479	SP/MG
S39_1	Rod. Fernão Dias - Pista Marginal, Km 479	MG/SP
S39_2	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 479	MG/SP
S40_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 477	SP/MG
S40_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 477	MG/SP
S41_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 475	SP/MG
S41_1	Rod. Fernão Dias - Pista Expressa, Km 475	MG/SP

Elaboração: LOGIT

As datas em que foram realizados os levantamentos estão na Tabela 11 e na Tabela 12.

**Tabela 11 – Datas de levantamento dos postos S1 a S10 (ambos os sentidos)**

Postos	S0_1/S0_2/S0_3/S1_1/S1_2	S2_1/S2_2/S10_1	S3_1/S4_1	S5_1/S6_1	S8_1
ter				09/11/21	
qua			10/11/21		
qui	04/11/21	04/11/21			04/11/21
sex		05/11/21			
sáb		06/11/21			

Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 12 – Datas de levantamento dos postos S29 a S41 (ambos os sentidos)**

Postos	S29_1/S36_1/S37_1/ S37_2/S40_1/S41_1	S30_1/S31_1/S31_2	S32_1	S33_1/S33_2/S34_1/ S34_2/S35_1	S39_1/S39_2
ter	09/11/21		09/11/21		
qua			10/11/21		

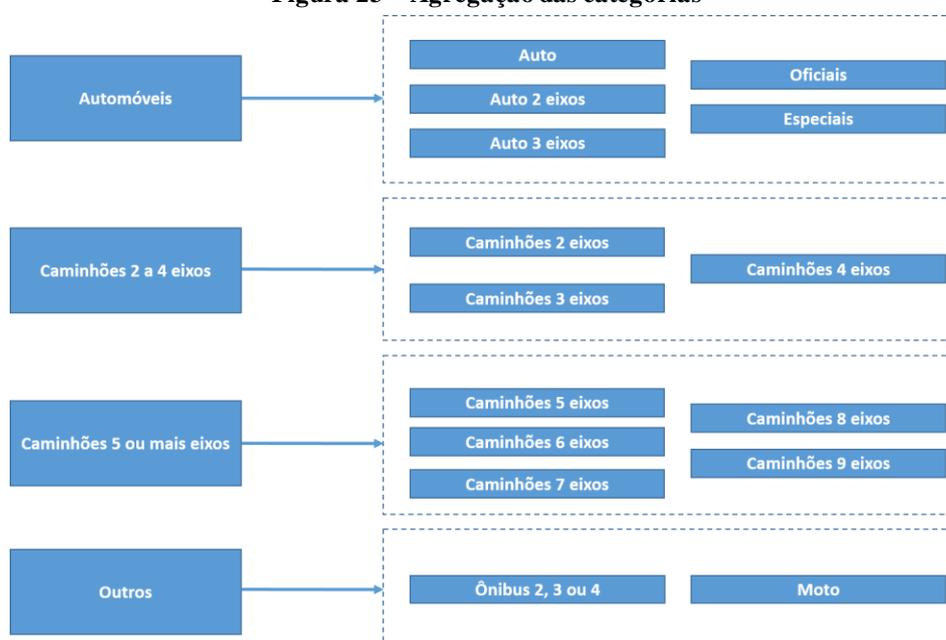
Postos	S29_1/S36_1/S37_1/ S37_2/S40_1/S41_1	S30_1/S31_1/S31_2	S32_1	S33_1/S33_2/S34_1/ S34_2/S35_1	S39_1/S39_2
qui		04/11/21	11/11/21	11/11/21	04/11/21
sex					05/11/21
sáb					06/11/21

Fonte: Elaboração LOGIT

#### 4.1.1.2 Processamento dos Dados de Contagem

Primeiramente agregou-se as categorias da distribuição veicular para futura calibração do modelo. Na Figura 23, pode-se observar à esquerda as categorias agregadas e à direita as categorias que foram observadas na contagem. Considerou-se a quantidade de eixos que os caminhões possuem independente de os eixos estarem suspensos ou não.

Figura 23 – Agregação das categorias



Fonte: Elaboração LOGIT

Os períodos de análise nas simulações de tráfego são os períodos-pico dos dias úteis (PPM e PPT), tidos como períodos críticos no tráfego urbano. A premissa fundamental em estudos de transporte urbano – e, por conseguinte, deste estudo – é a de que os períodos-pico em dias úteis são razoavelmente homogêneos ao longo de dias típicos e, em particular, nas semanas abrangidas pela campanha de levantamento de dados.

A partir dos dados de volume horário semanal é possível calcular o VDM (Volume Diário Médio) referente aos dias em que a contagem de campo foi realizada (veículos/dia), bem como VDM-PPM e VDM-PPT, que dizem respeito ao volume médio em dias úteis nos períodos-pico Manhã (PPM) e Tarde (PPT), respectivamente. No presente estudo, os períodos Manhã e Tarde abrangem os dias úteis das 6h às 10h e das 16h às 20h, respectivamente.

Desta forma, a média das observações dos dias úteis em cada ponto de pesquisa foi considerada representativa do VDM no mês de novembro – sendo os períodos de simulação e de análise correspondentes às horas úteis do dia útil típico médio do mês de novembro/2021. A título de

comparação, para modelagem de sistemas de transporte público urbano, tal consideração é adotada sem qualquer prejuízo, sendo mesma premissa adotada para o presente estudo.

Como o intuito do estudo urbano é entender os fluxos que ocorrem nas regiões metropolitanas durante os períodos críticos, foi necessária a conversão dos volumes de VDM-PPM e VDM-PPT em volumes de HPM e HPT (hora-pico manhã e hora-pico tarde, respectivamente). Para isso, foram utilizados os fatores de conversão, dispostos na Tabela 13 e na Tabela 14, a seguir, calculados a partir das contagens de dados secundários de contagem na Fernão Dias na RMSP (definidos no Capítulo 4.1.4) e de dados da Pesquisa Origem-Destino da Praça de Pedágio P-08.

**Tabela 13 – Fatores de conversão hora-pico manhã para os postos de coleta da Rod. Fernão Dias**

Categoria	RMSP		RMBH	
	Norte	Sul	Norte	Sul
Automóveis	0,297	0,315	0,350	0,333
Caminhões 2 a 4 eixos	0,361	0,313	0,297	0,340
Caminhões 5 ou mais eixos	0,355	0,344	0,343	0,343

Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 14 – Fatores de conversão hora-pico tarde para os postos de coleta da Rod. Fernão Dias**

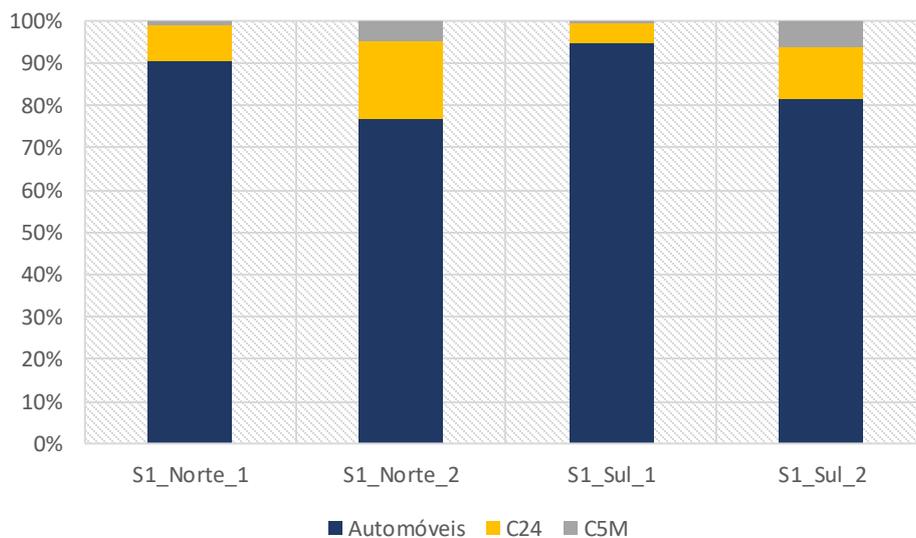
Categoria	RMSP		RMBH	
	Norte	Sul	Norte	Sul
Automóveis	0,308	0,327	0,351	0,392
Caminhões 2 a 4 eixos	0,346	0,394	0,316	0,325
Caminhões 5 ou mais eixos	0,333	0,363	0,343	0,347

Fonte: Elaboração LOGIT

O volume na hora-pico é obtido como a multiplicação do fator hora pico com o volume total no período:

$$Vol.HP = FHP * Volume\ médio\ do\ Período \quad (1)$$

Um exemplo de composição do tráfego pode ser observado na Figura 24 (referente ao Posto S1 para a hora-pico manhã), em que cada coluna corresponde a uma das posições de contagem, sendo apresentada a proporção relativa de cada categoria, em quantidade de veículos, considerando apenas as categorias Automóveis, C24 e C5M.



**Figura 24 – Distribuição veicular do Posto S1 na hora-pico manhã**

Fonte: Elaboração LOGIT

Para complementar o entendimento do gráfico foi elaborado também uma tabela que ilustra os volumes absolutos de cada uma das categorias. Dessa forma, é possível saber a ordem de grandeza de cada categoria, conforme apresentado na Tabela 15. Os dados de todos os postos estão disponíveis no Apêndice 1.

**Tabela 15 – Número de veículos por categoria Posto S1 - HPM**

Posto	Automóveis	C24	C5M
S1_Norte_1	2.063	188	27
S1_Norte_2	1.863	446	116
S1_Sul_1	3.798	187	26
S1_Sul_2	2.278	340	181

Fonte: Elaboração LOGIT

#### 4.1.2 Pesquisas Origem-Destino (OD)

##### 4.1.2.1 Planejamento e Localização dos Postos De Pesquisa

Complementarmente aos dados coletados mencionados no capítulo anterior (4.1.1), foi utilizada a base horária de volume pedagiado, contendo contagens volumétricas nos pedágios P-01 (km 65) a P-08 (km 546) da Autopista Fernão Dias, de janeiro a dezembro de 2019:

**Figura 25 – Localização das praças de pedágio na Fernão Dias**



Fonte: Elaboração LOGIT

#### 4.1.2.2 Processamento dos Dados de Origem-Destino

Os dados foram usados como insumo para a obtenção de fatores de hora-pico, fatores de período/dia, e fatores de dia útil médio/dia médio, para processamento de volumes de tráfego pedagiados. Este último grupo de fatores (dia útil médio/dia médio) dizem respeito aos fatores utilizados para conversão do VMS-DU em VDMA e vice-versa.

Ainda, para o cálculo da receita (Capítulo 6.3.2), foi necessário o cálculo de fatores de dia útil exceto período pico em relação ao período pico oposto.

Foram calculados fatores que auxiliariam a conversão dos dados para volume na hora-pico em cada um dos períodos. Os fatores calculados correspondem ao fator dia útil, ao fator período-pico e ao fator hora-pico e cujas fórmulas empregadas podem ser visualizadas respectivamente abaixo.

$$\text{Fator dia útil} = \frac{\text{Vol. dia útil do Posto}_{iDA}}{\text{Vol. Diário Posto}_{iDA}} \quad (2)$$

$$\text{Fator período} = \frac{\text{Volume médio do Período do mesmo Posto}_{iDA}}{\text{Vol. dia útil}_{DA}} \quad (3)$$

$$\text{Fator HP} = \frac{\max(\text{Vol. Horário do Período de determinado Posto}_{iDA})}{\text{Volume médio do Período do mesmo Posto}_{iDA}} \quad (4)$$

$$\text{Fator dia – período pico} = \frac{\text{Vol. dia útil – Período do Posto}_i}{\text{Volume médio do Período oposto no mesmo Posto}_i} \quad (5)$$

Os fatores calculados para cada uma das praças e sentidos estão dispostos nas tabelas a seguir:

**Tabela 16 – Valores calculados do Fator dia útil: Tráfego em Praças de Pedágio**

Praça	Auto	C24	C5M
P-01 Norte	0,926	1,230	1,131
P-01 Sul	0,909	1,247	1,188
P-08 Norte	0,837	1,104	1,045
P-08 Sul	0,906	1,134	1,071

Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 17 – Valores calculados do Fator período: Tráfego em Praças de Pedágio**

Praça	PPM			PPT		
	Auto	C24	C5M	Auto	C24	C5M
P-01 Norte	0,192	0,206	0,124	0,295	0,207	0,226
P-01 Sul	0,252	0,214	0,197	0,239	0,181	0,148
P-08 Norte	0,222	0,225	0,226	0,249	0,187	0,181
P-08 Sul	0,245	0,176	0,171	0,245	0,219	0,232

Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 18 – Valores calculados do Fator HP: Tráfego em Praças de Pedágio**

Praça	HPM			HPT		
	Auto	C24	C5M	Auto	C24	C5M
P-01 Norte	0,297	0,360	0,355	0,307	0,346	0,333
P-01 Sul	0,315	0,313	0,344	0,327	0,393	0,363

Praça	HPM			HPT		
	Auto	C24	C5M	Auto	C24	C5M
P-08 Norte	0,350	0,296	0,342	0,351	0,315	0,342
P-08 Sul	0,333	0,340	0,343	0,392	0,324	0,346

Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 19 – Valores calculados do Fator Dia-Período Pico: Tráfego em Praças de Pedágio**

Praça	(DU-PT)/PM			(DU-PM)/PT		
	Auto	C24	C5M	Auto	C24	C5M
P-01 Norte	3,757	3,773	6,095	2,794	3,849	3,768
P-01 Sul	3,094	3,798	4,275	3,128	4,347	5,375
P-08 Norte	3,502	3,622	3,589	3,149	4,145	4,262
P-08 Sul	3,224	4,426	4,434	3,138	3,747	3,552

Fonte: Elaboração LOGIT

### 4.1.3 Dados de Telefonia Móvel

Com o objetivo de complementar a matriz origem-destino utilizada no estudo, utilizaram-se dados de telefonia para a obtenção de uma matriz origem-destino. A utilização de matrizes de telefonia pode ser adaptada de forma flexível ao zoneamento desejado para o estudo, trazendo o detalhamento adequado de origem e destino das viagens, além de permitir a obtenção de uma amostra representativa das viagens na área. Como principais benefícios desta tecnologia destacam-se:

- A agilidade e flexibilidade na escolha da abrangência temporal da coleta de dados;
- A amostragem substancialmente maior que métodos tradicionais;
- A coleta de dados de forma passiva (não-intrusiva), sendo especialmente adequado em contextos em que a interceptação das viagens é inviável.

A utilização de dados de telefonia em estudos de tráfego voltados à estruturação de projetos de concessões rodoviárias foi realizada pela primeira vez em âmbito nacional no Estudo de Tráfego desenvolvido pela LOGIT para o EVTEA da nova concessão da Rodovia Presidente Dutra (BR-116/SP/RJ). A experiência se mostrou satisfatória, e a tendência é que este tipo de dado seja incorporado cada vez mais a estudos de tráfego, tendo em vista os benefícios listados anteriormente e a dificuldade crescente para a realização de pesquisas OD interceptadas.

Como limitações, os dados de telefonia não são capazes de distinguir de forma autossuficiente o modo de transporte utilizado nas viagens e não fornecem informações complementares aos deslocamentos como categoria veicular e faixa de renda (informações passíveis de observação direta no caso de pesquisas interceptadas). Assim, torna-se necessário a aferição dessas características indiretamente, com o auxílio de dados complementares.

De forma menos impactante (a depender da abrangência temporal da coleta de dados), os dados de telefonia também possuem restrições de privacidade, de forma a respeitar a legislação da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Por esse motivo, nos bancos de dados fornecidos pelas empresas que processam os dados de telefonia, não são explicitadas informações que contabilizem menos de 10 viagens, implicando na existência de células a princípio indeterminadas na matriz OD.

A equipe de *IoT* e *Big Data* da Telefônica Brasil foi contratada para fornecer a matriz de telefonia a partir de dados da operadora telefônica Vivo. Através da grande quantidade de dados

coletados pela Vivo, a equipe é capaz de, a partir de metadados (local, horário etc.) prover informações a respeito dos padrões de mobilidade dos usuários que trafegam pelas rodovias de uma determinada região.

Para processar os dados de telefonia, a Telefônica utiliza modernas técnicas estatísticas e computacionais, como o aprendizado de máquina (*machine learning*) e modelos preditivos. A Figura 26 apresenta as empresas envolvidas no processo de obtenção da matriz OD de telefonia.

**Figura 26 – Empresas envolvidas na obtenção da matriz OD de telefonia**



Fonte: Elaboração LOGIT

Foram contabilizadas viagens no período de 1/8/2019 a 31/8/2019 (total de 31 dias – agosto de 2019). De forma geral, os dados de telefonia fornecidos correspondiam a volumes de pares OD e vetores de produção e atração de viagens. Além das viagens totais, os dados também foram fornecidos de acordo com quatro características de interesse para a modelagem de tráfego, a saber:

- Frequência de viagem:
  - Baixa: 1 ou menos viagens no mês;
  - Média: 2 a 4 viagens no mês;
  - Alta: 5 ou mais viagens no mês.
- Distância Total Diária Média (DTD):
  - 0 a 20 km;
  - 20 a 50 km;
  - 50 a 100 km;
  - 100 a 150 km;
  - 150 a 200 km;
  - 200 a 250 km;
  - 250 a 300 km;
  - 300 a 400 km;
  - 400 a 500 km;
  - 500 a 600 km;
  - 600 a 800 km;
  - 800 a 1.000 km;
  - 1.000+ km.
- Dia da semana:
  - Segunda-feira
  - Terça-feira
  - Quarta-feira
  - Quinta-feira
  - Sexta-feira
  - Sábado
  - Domingo

- Faixa de horário:
  - Pico da Manhã
  - Pico da Tarde
  - Entrepico
  - Outros

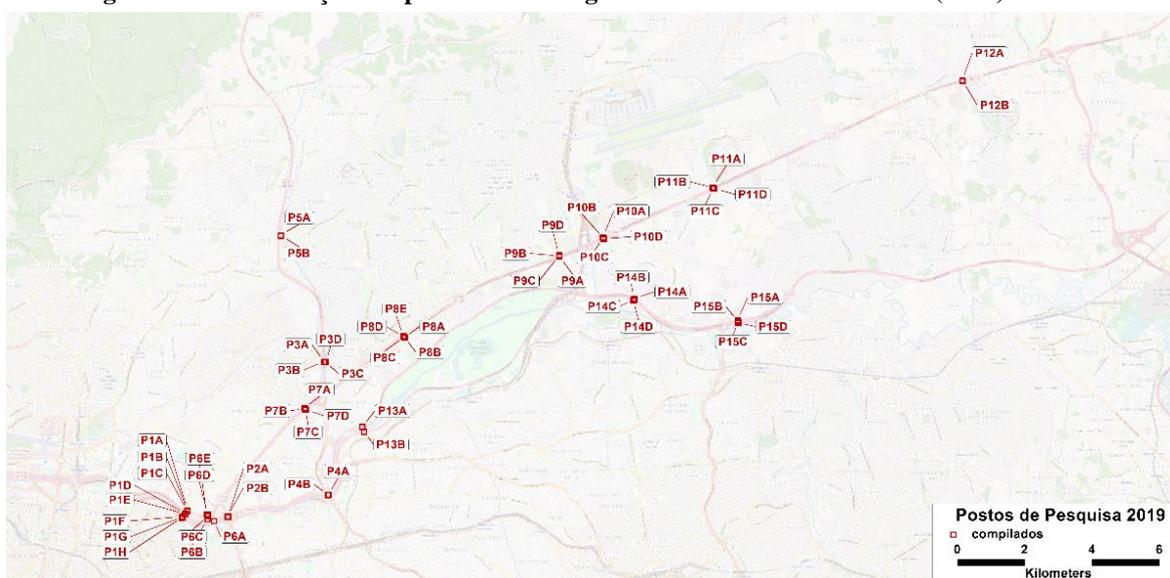
#### 4.1.4 Dados Secundários

Complementarmente aos dados coletados para esse estudo, foram utilizados os dados de pesquisas origem-destino domiciliares, de cargas e interceptadas em pontos de linha de contorno das regiões metropolitanas, para auxiliar na construção das matrizes OD sementes, além de dados de tráfego de pesquisas CVC realizados para outro estudo, da Rod. Pres. Dutra, e de SATs, fornecidos pela EPL, para auxiliar na calibração do modelo.

##### 4.1.4.1 Dados de Tráfego

Foram utilizados 15 postos de pesquisa do estudo da Dutra, totalizando 56 posições de contagem, distribuídas ao longo da rodovia, conforme apresentado na Figura 27 e listado na Tabela 20. Pode-se observar que se situam majoritariamente ao longo do eixo da Dutra e ao longo da Rodovia Ayrton Senna (eixo rodoviário paralelo e complementar), com alguns pontos localizados em torno da Rodovia Fernão Dias e da Marginal Tietê.

**Figura 27 – Localização dos postos de Contagem Volumétrica Classificada (CVC) – RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT com base em EVTEA da Dutra

**Tabela 20 – Postos de coleta no estudo da Rod. Pres. Dutra e suas respectivas localizações e sentidos**

Posto	Localização	Sentido
P1A	Ac. Marg. Tietê Via Local, Altura Pte. Jânio Quadros	RJ / SP
P1B	Ac. Marg. Tietê Via Central, Altura Pte. Jânio Quadros	RJ / SP
P1C	Ac. Marg. Tietê Via Expressa, Altura Pte. Jânio Quadros	RJ / SP
P1D	Marg. Tietê Expressa, Altura Pte. Jânio Quadros	RJ / SP
P1E	Marg. Tietê Expressa, Altura Pte. Jânio Quadros	RJ / SP

Posto	Localização	Sentido
P1F	Marg. Tietê Expressa, Altura Pte. Jânio Quadros	SP / RJ
P1G	Marg. Tietê Central, Altura Pte. Jânio Quadros	SP / RJ
P1H	Marg. Tietê Local, Altura Pte. Jânio Quadros	SP / RJ
P2A	Av. Salim Farah Maluf, Altura Pte. Tatuapé	SP / RJ
P2B	Av. Salim Farah Maluf, Altura Pte. Tatuapé	RJ / SP
P3A	Rod. Fernão Dias - Pista Local, Km 89.7	BH / SP
P3B	Rod. Fernão Dias - Pista Local, Km 89.7	BH / SP
P3C	Rod. Fernão Dias - Pista Central, Km 89.7	SP / BH
P3D	Rod. Fernão Dias - Pista Local, Km 89.7	SP / BH
P4A	Pte. Aricanduva	SP / RJ
P4B	Pte. Aricanduva	RJ / SP
P5A	R. Cirene De Oliveira Laet - Pista Simples	RJ / SP
P5B	R. Abílio Pedro Ramos - Pista Simples	SP / RJ
P6A	Pte. Dutra, Saída Marg. Para Dutra	SP / RJ
P6B	Rod. Dutra - Ac. À Rod. Ayrton Senna, Pista Expressa	RJ / SP
P6C	Rod. Dutra - Ac. À Marg. Tietê, Pista Central	RJ / SP
P6D	Rod. Dutra - Ac. À Marg. Tietê, R. Amambaí	RJ / SP
P6E	Rod. Dutra, Ac. À Marg. Tietê	RJ / SP
P7A	Rod. Dutra - Pista Local, Lateral	RJ / SP
P7B	Rod. Dutra - Pista Central	RJ / SP
P7C	Rod. Dutra - Pista Central	SP / RJ
P7D	Rod. Dutra - Pista Local, Lateral	SP / RJ
P8A	Rod. Dutra - Pista Local, Altura Empresa Técnico Ind. Do Brasil	SP / RJ
P8B	Rod. Dutra - Pista Central, Altura Empresa Técnico Ind. Do Brasil	SP / RJ
P8C	Rod. Dutra - Pista Expressa, Altura Empresa Técnico Ind. Do Brasil	SP / RJ
P8D	Rod. Dutra - Pista Central, Altura Empresa Técnico Ind. Do Brasil	RJ / SP
P8E	Rod. Dutra - Pista Local, Altura Empresa Técnico Ind. Do Brasil	RJ / SP
P9A	Rod. Dutra - Pista Local, Km 219	SP / RJ
P9B	Rod. Dutra - Pista Central, Km 219	SP / RJ
P9C	Rod. Dutra - Pista Central, Km 219	RJ / SP
P9D	Rod. Dutra - Pista Local, Km 219	RJ / SP
P10A	Rod. Dutra - Pista Local, Km 218	RJ / SP
P10B	Rod. Dutra - Pista Central, Km 218	RJ / SP
P10C	Rod. Dutra - Pista Central, Km 218	SP / RJ
P10D	Rod. Dutra - Pista Local, Km 218	SP / RJ
P11A	Rod. Dutra - Pista Local, Lateral	RJ / SP
P11B	Rod. Dutra - Pista Central	RJ / SP
P11C	Rod. Dutra - Pista Central	SP / RJ
P11D	Rod. Dutra - Pista Central	SP / RJ
P12A	Rod. Dutra - Pista Local	RJ / SP
P12B	Rod. Dutra - Pista Local	SP / RJ
P13A	Rod. Ayrton Senna	RJ / SP
P13B	Rod. Ayrton Senna	SP / RJ
P14A	Rod. Ayrton Senna - Pista Local, Km 21	RJ / SP
P14B	Rod. Ayrton Senna - Pista Central, Km 21	RJ / SP

Posto	Localização	Sentido
P14C	Rod. Ayrton Senna - Pista Central, Km 21	SP / RJ
P14D	Rod. Ayrton Senna - Pista Local, Km 21	SP / RJ
P15A	Rod. Ayrton Senna - Pista Local, Km 24	RJ / SP
P15B	Rod. Ayrton Senna - Pista Central, Km 24	RJ / SP
P15C	Rod. Ayrton Senna - Pista Central, Km 24	SP / RJ
P15D	Rod. Ayrton Senna - Pista Local, Km 24	SP / RJ

Fonte: Elaboração LOGIT com base em EVTEA da Dutra

As datas em que foram realizados os levantamentos estão na Tabela 21 e na Tabela 22, sendo que somente os postos P8 e P13 foram pesquisados nos sete dias da semana.

**Tabela 21 – Datas de levantamento dos postos P1 a P8**

Postos	P1A/P1B/P1C/P1D P1E/P1F/P1G/P1H P2A/P2B	P3A/P3B P3C/P3D	P4A/P4B P5A/P5B	P6A/P6B/P6C P6D/P6E	P7A/P7B P7C/P7D	P8A/P8B/P8C P8D/P8E
seg						20/05/19
ter		04/06/19	07/05/19		14/05/19	14/05/19
qua	08/05/19	05/06/19	08/05/19	08/05/19	15/05/19	15/05/19
qui	09/05/19	06/06/19	09/05/19		16/05/19	16/05/19
sex	10/05/19					17/05/19
sáb						18/05/19
dom						19/05/19

Fonte: Elaboração LOGIT com base em EVTEA da Dutra

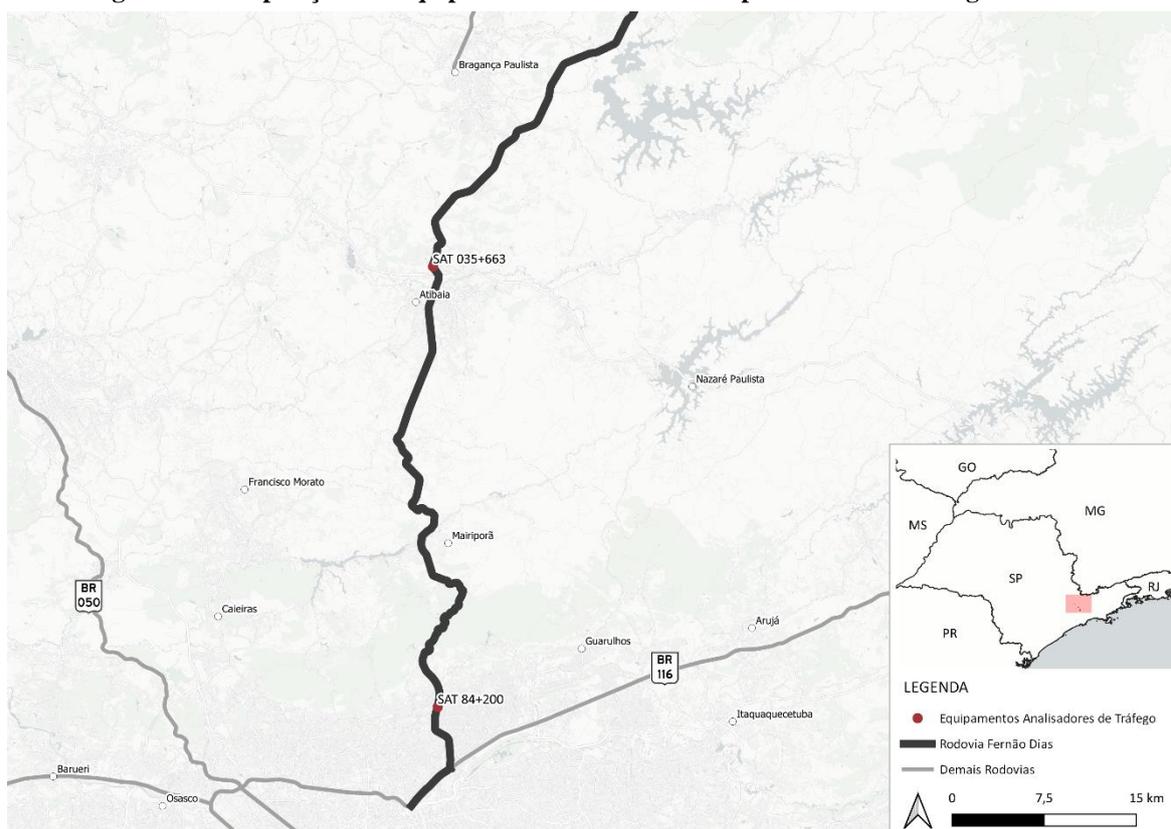
**Tabela 22 – Datas de levantamento dos postos P9 a P15**

Postos	P9A/P9B P9C/P9D	P10A/P10B P10C/P10D	P11A/P11B P11C/P11D	P12A/P12B	P13A/P13B	P14A/P14B P14C/P14D
seg					13/05/19	
ter	14/05/19	14/05/19	21/05/19		07/05/19	21/05/19
qua	15/05/19		22/05/19	22/05/19	08/05/19	22/05/19
qui	16/05/19		23/05/19		09/05/19	23/05/19
sex					10/05/19	
sáb					11/05/19	
dom					12/05/19	

Fonte: Elaboração LOGIT com base em EVTEA da Dutra

Ainda, foram utilizados os dados de equipamentos SATs dispostos conforme a Figura 28.

**Figura 28 – Disposição dos equipamentos SAT utilizados para dados de tráfego na RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

Os volumes de contagem dos dados de tráfego foram utilizados para a calibração do modelo, bem como para o cálculo dos volumes nas horas-pico dos pontos de contagem na Rod. Fernão Dias, conforme mencionado no Capítulo 4.1.1.2.

#### 4.1.4.2 Pesquisas Origem-Destino Domiciliares

##### 4.1.4.2.1 RMSP

A fonte pública referencial de informações de padrões de viagem na RMSP trata da chamada Pesquisa Origem e Destino do Metrô<sup>29</sup>, realizada ao longo de 2017 e início de 2018, tendo sido finalmente publicada em dezembro de 2018. Trata-se de uma pesquisa origem-destino domiciliar realizada quinquenalmente na RMSP e publicada para uso livre de planejadores de transporte, urbanistas e profissionais de diversos setores para fins variados.

A Pesquisa Origem e Destino do Metrô de São Paulo tem três objetivos principais<sup>30</sup>:

- Quantificar e caracterizar o padrão atual de viagens na Região Metropolitana de São Paulo (Figura 29);
- Obter insumos para projeção de viagens futuras;
- Obter subsídios para planos e projetos futuros.

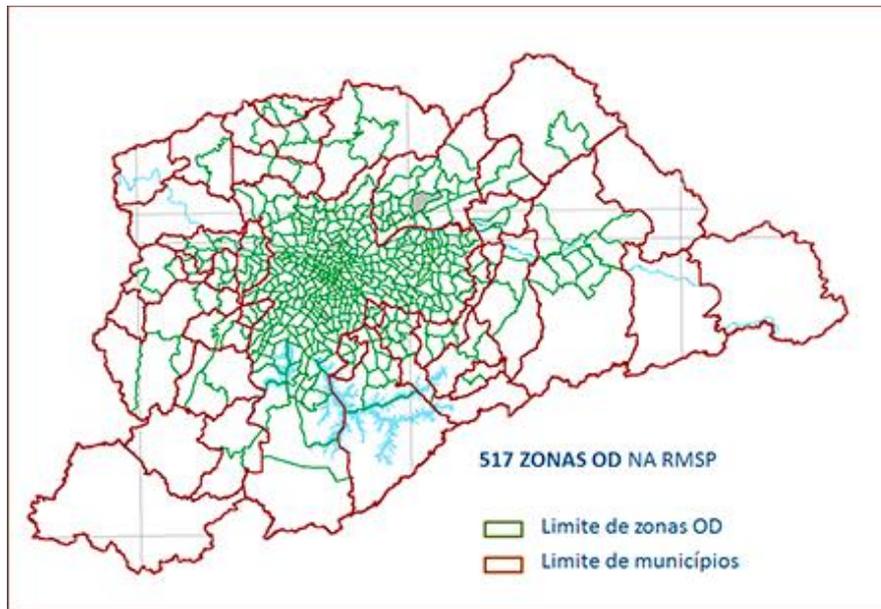
Os resultados da Pesquisa Origem e Destino são essenciais para qualquer planejador urbano e, especialmente, para o planejador de transportes. Eles mostram os fluxos dos cidadãos da região,

<sup>29</sup> <http://www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od/>

<sup>30</sup> <http://www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od/informacoes-od.aspx>

apontando o impacto das escolhas de transporte na conformação das cidades e de seus bairros, fornecendo subsídio importante para os gestores elaborarem seus planos urbanos e seus Planos de Mobilidade. Os dados da Pesquisa Origem e Destino também estão presentes em praticamente todos os estudos e teses acadêmicas sobre a RMSP nas áreas de transporte, urbanismo e ciências sociais. A Pesquisa Origem e Destino é, ainda, a única fonte de informação, relativa a pequenas parcelas do território, sobre: empregos formais e informais e matrículas escolares.

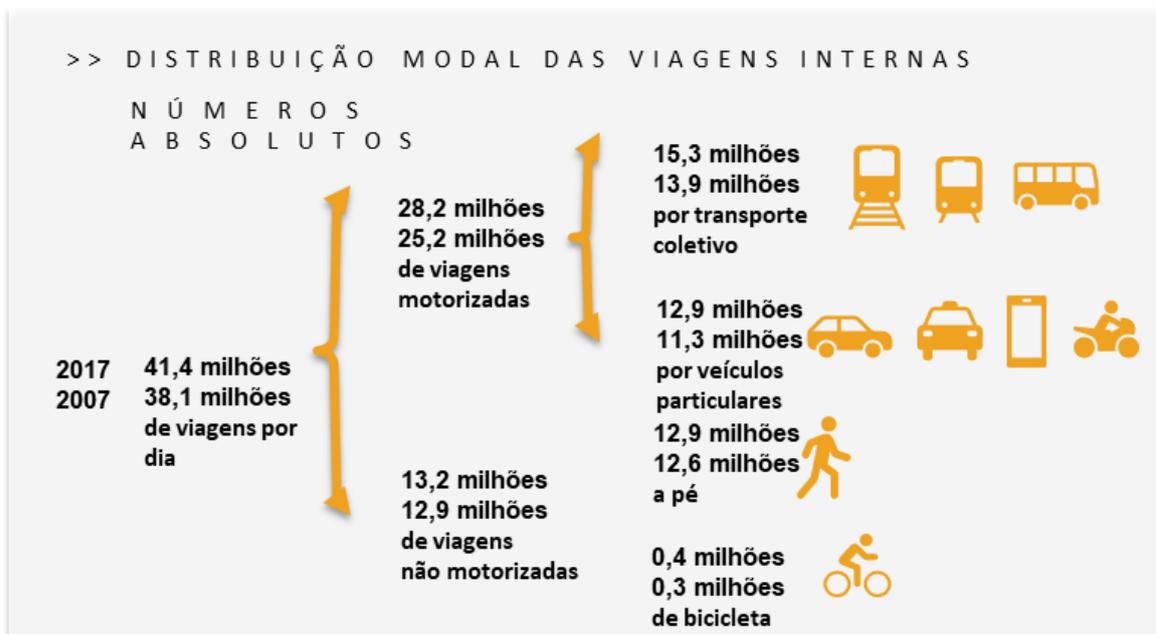
**Figura 29 – Zoneamento da RMSP utilizado na pesquisa domiciliar**



Fonte: Metrô SP <<http://www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od/planejamento-preparacao.aspx/>>

Outros setores também utilizam os resultados desta Pesquisa: Saúde, Educação, Saneamento, Segurança, Análise de Mercado. Para o presente estudo, a informação de mobilidade que interessa se refere às viagens de veículos particulares de passeio, cujo escopo da pesquisa domiciliar reflete em essência os deslocamentos urbanos, razão pela qual atribui-se à segmentação de demanda de automóveis de alta frequência. A pesquisa domiciliar não mapeia, contudo, as viagens de veículos de carga, conforme ilustrado na Figura 30.

**Figura 30 – Caracterização das viagens identificadas na pesquisa domiciliar**



Fonte: Metrô SP < <http://www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od/confiabilidade-informacoes-prestadas.aspx/>>

A pesquisa domiciliar fornece também os dados secundários utilizados para a redistribuição do zoneamento regional nos fluxos com origem ou destino na RMSP. São elencados vetores de certos parâmetros de interesse, disponibilizados a partir do processamento dos dados da pesquisa domiciliar: para cada zona constrói-se (1) o total de domicílios com posse de automóvel, (2) o total de viagens atraídas a trabalho e (3) o total de viagens atraídas a trabalho, nos setores econômicos de indústria ou de comércio.

#### 4.1.4.2.2 RMBH

A fonte pública referencial de informações de padrões de viagem na RMBH trata da chamada Pesquisa Origem e Destino da Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte<sup>31</sup>, realizada ao longo de 2011 e 2012. Trata-se de uma pesquisa origem-destino domiciliar realizada decenalmente na RMBH e publicada para uso livre de planejadores de transporte, urbanistas e profissionais de diversos setores para fins variados.

A Pesquisa Origem e Destino de RMBH compreende a região ilustrada na Figura 31, composta por 1.289 zonas, e tem como objetivo principal “identificar as necessidades de mobilidade da população da metrópole e conjugar tais necessidades com as características socioeconômicas dessa população”<sup>32</sup>.

<sup>31</sup> <http://www.agenciarmbh.mg.gov.br/pesquisa-od/>

<sup>32</sup> [http://www.metropolitana.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Relatorio-Completo-Pesquisa-OD-2012-](http://www.metropolitana.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Relatorio-Completo-Pesquisa-OD-2012-1.pdf)

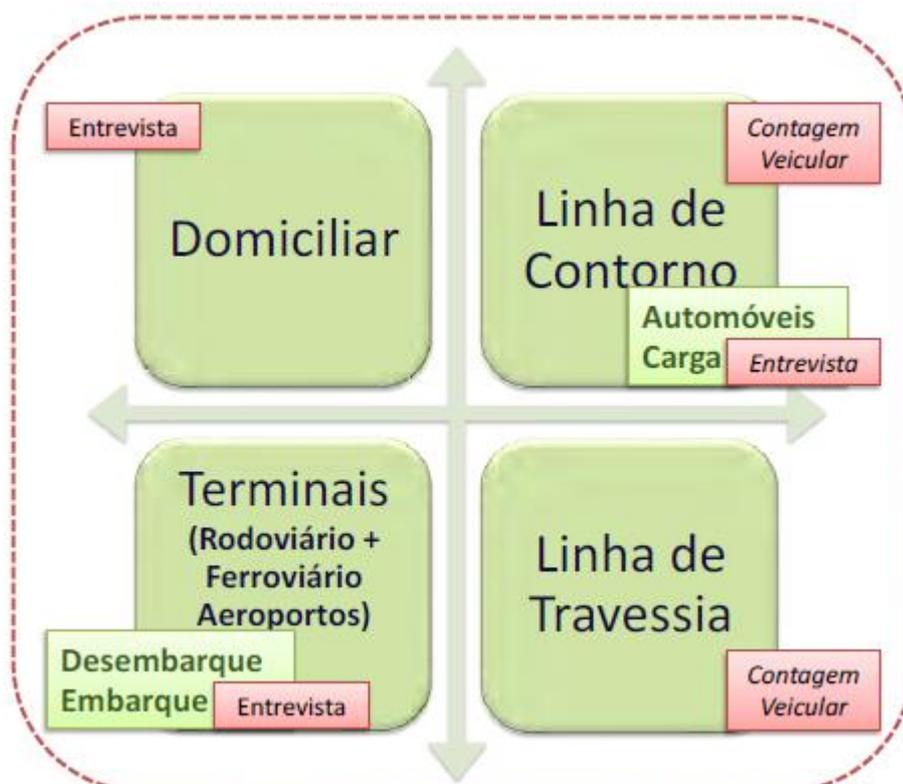
Figura 31 – Zoneamento da RMBH utilizado na pesquisa domiciliar



Fonte: Pesquisa OD RMBH <<http://www.metropolitana.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Relatorio-Completo-Pesquisa-OD-2012-1.pdf>>

Para o presente estudo, a informação de mobilidade que interessa se refere às viagens de veículos particulares de passeio, cujo escopo da pesquisa domiciliar reflete em essência os deslocamentos urbanos, razão pela qual atribui-se à segmentação de demanda de automóveis de alta frequência. A pesquisa domiciliar não mapeia, contudo, as viagens de veículos de carga, conforme ilustrado na Figura 32.

Figura 32 – Divisão em módulos da Pesquisa OD de RMBH



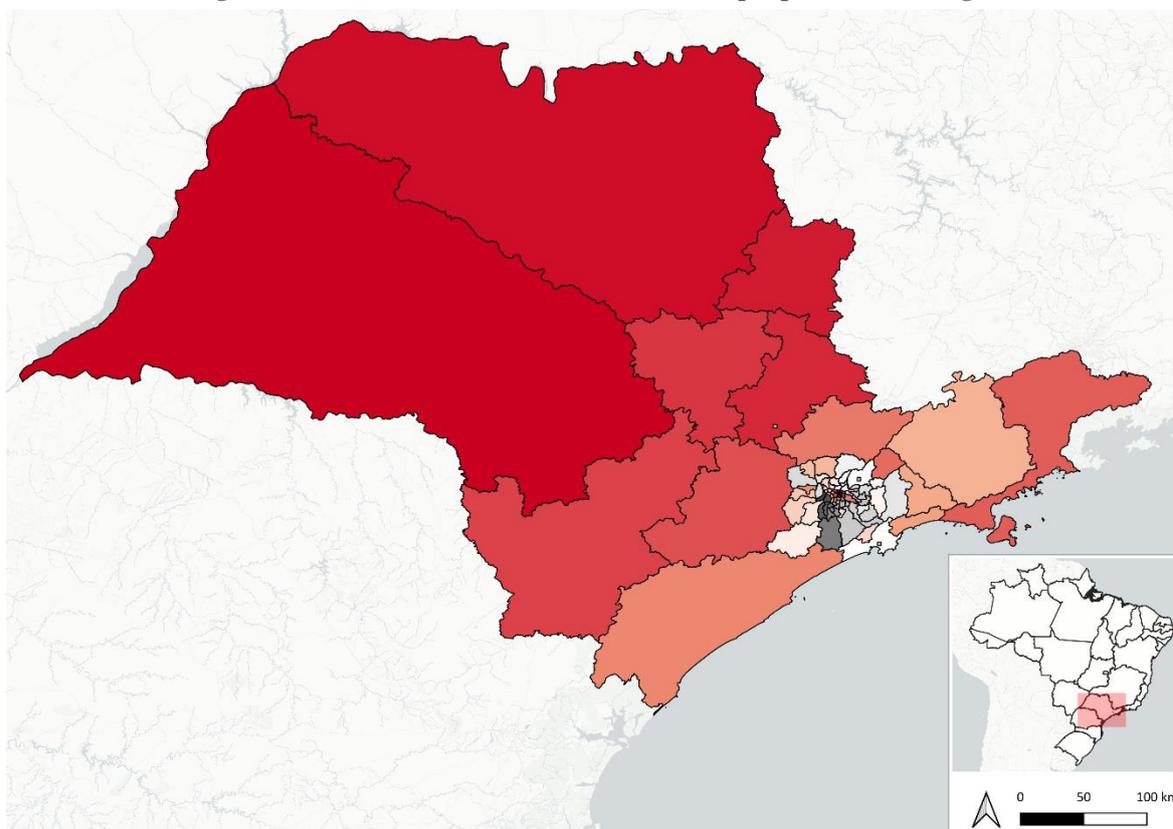
Fonte: Pesquisa OD RMBH < <http://www.metropolitana.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Relatorio-Completo-Pesquisa-OD-2012-1.pdf>>

#### 4.1.4.3 Pesquisas Origem-Destino de Cargas

##### 4.1.4.3.1 RMSP

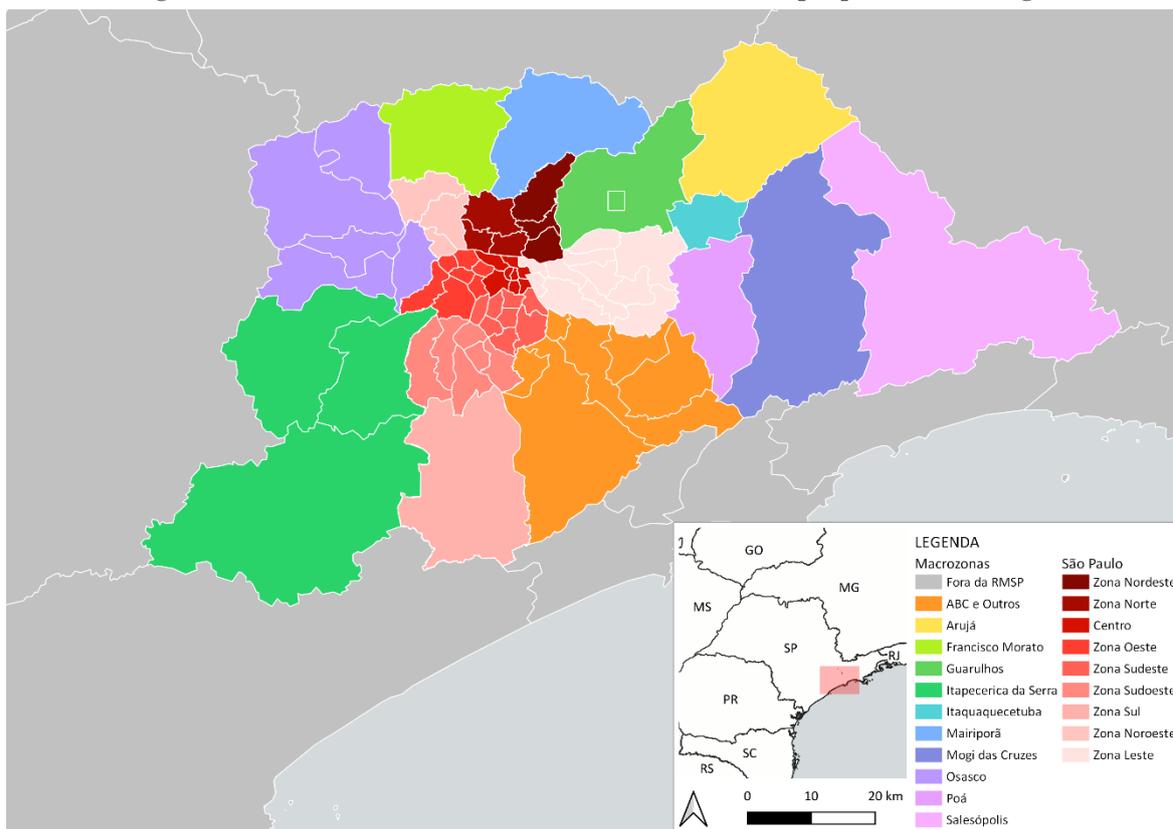
Conforme mencionado no capítulo 4.3.1.1, as matrizes domiciliares não compreendem viagens de veículos de carga. Sendo assim, para essa categoria foi utilizada a Pesquisa Origem Destino de Cargas realizada pela Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) de São Paulo, em 2017. A pesquisa compreende a região ilustrada na Figura 33 e Figura 34, composta por 227 zonas englobando o estado de São Paulo.

**Figura 33 – Zoneamento da RMSP utilizado na pesquisa OD de cargas**



Fonte: Elaboração LOGIT com base em Pesquisa Origem e Destino de Cargas da CET <  
<http://www.cetsp.com.br/consultas/pesquisa-origem-e-destino-de-cargas/download-banco-de-dados-e-mapas.aspx> >

Figura 34 – Zoneamento detalhado da RMSP utilizado na pesquisa OD de cargas



Fonte: Elaboração LOGIT com base em Pesquisa Origem e Destino de Cargas da CET <

<http://www.cetsp.com.br/consultas/pesquisa-origem-e-destino-de-cargas/download-banco-de-dados-e-mapas.aspx> >

#### 4.1.4.3.2 RMBH

Conforme mencionado no capítulo 4.3.1.2, as matrizes domiciliares não compreendem viagens de veículos de carga. Sendo assim, para essa categoria foi utilizada a Pesquisa Origem Destino de Cargas<sup>33</sup>, também realizada pela Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte, em 2019, utilizando dados de documentos fiscais de 2017. A pesquisa compreende a região ilustrada na Figura 35, composta por 95 zonas.

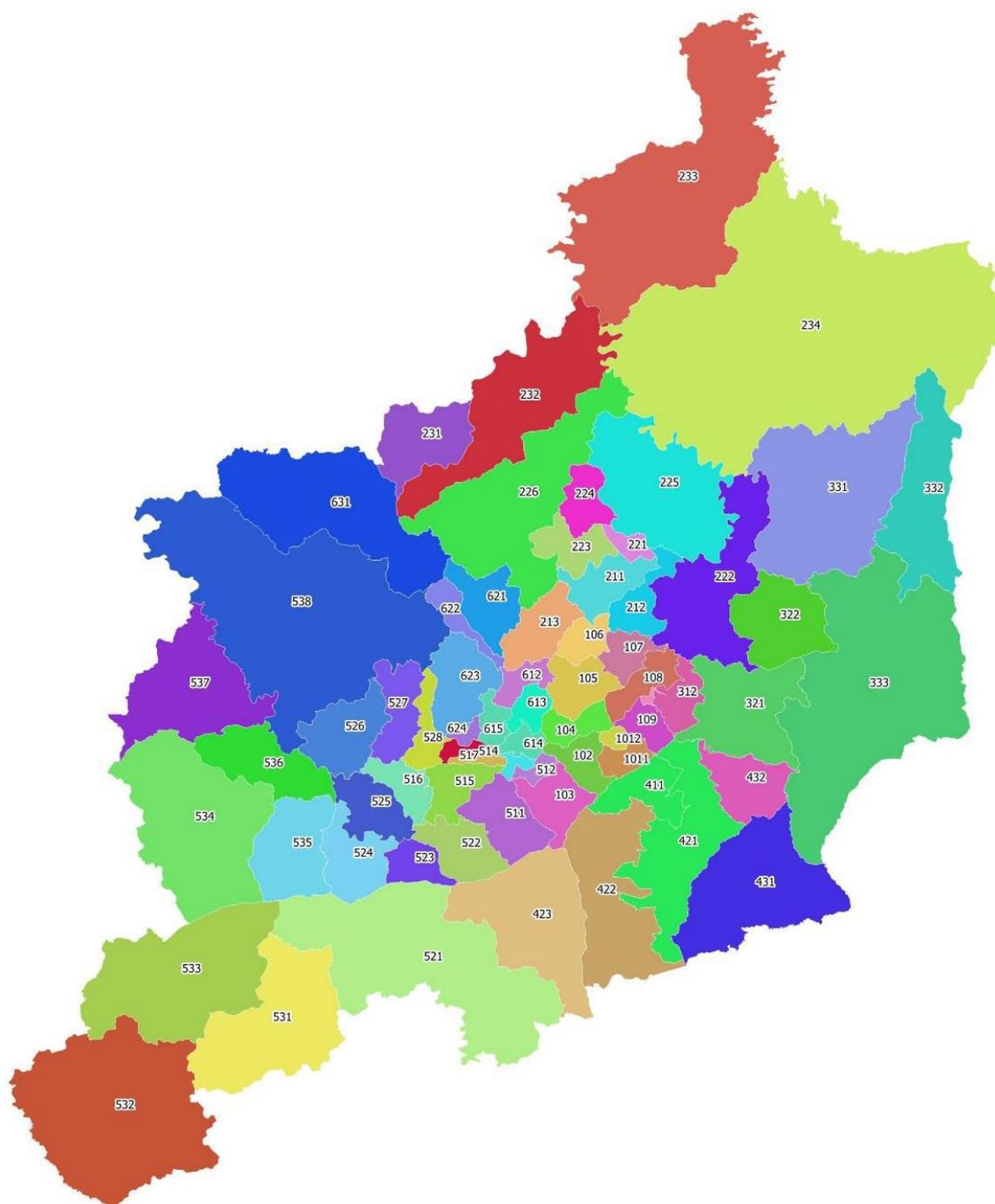
<sup>33</sup> <http://www.metropolitana.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Matriz-OD-Cargas-RMBH-2017.pdf>

Figura 35 – Zoneamento da RMBH utilizado na pesquisa OD de cargas



Fonte: Pesquisa OD RMBH <<http://www.metropolitana.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Matriz-OD-Cargas-RMBH-2017.pdf>>

Figura 36 – Zoneamento detalhado da RMBH utilizado na pesquisa OD de cargas



Fonte: Pesquisa OD RMBH <<http://www.metropolitana.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Matriz-OD-Cargas-RMBH-2017.pdf>>

#### 4.1.4.4 Pesquisas Origem-Destino Interceptadas

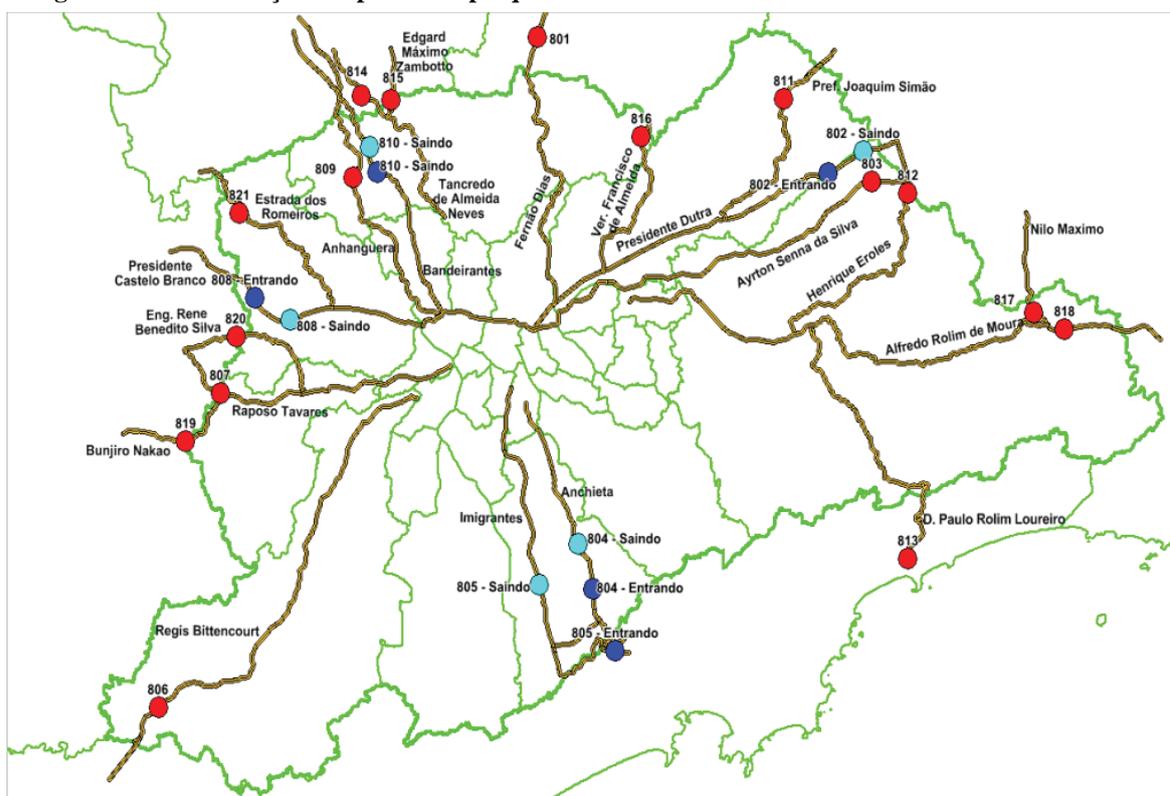
Para as viagens interceptadas foram utilizadas duas fontes, para cada uma das regiões metropolitanas: pesquisas origem-destino em linhas de contorno, e pesquisas origem-destino nas praças de pedágio da Fernão Dias no contorno dessas regiões metropolitanas (Praça P-01 e Praça P-08 da Arteris).

#### 4.1.4.4.1 RMSP

Complementando a Pesquisa Domiciliar, a Pesquisa Origem e Destino de 2017 do Metrô<sup>34</sup> também contempla a Pesquisa na Linha de Contorno, que corresponde à linha imaginária que circunda o limite geográfico da Região Metropolitana de São Paulo, investigando as viagens externas às RMSP (aquelas com origem ou destino fora da região, ou que a atravessam).

A Pesquisa faz o levantamento dessas viagens em pontos estratégicos para a coleta de informações: rodovias que cruzam a linha de contorno; terminais rodoviários; aeroportos; e pontos de parada de ônibus próximos a estações de metrô. Destes, interessou a este estudo o levantamento feito em rodovias que cruzam a linha de contorno, ilustrados na Figura 37:

Figura 37 – Localização dos postos de pesquisa nas rodovias da linha de contorno da RMSP – 2017



Fonte: Metrô SP

<[https://transparencia.metrosp.com.br/sites/default/files/S%C3%8DNTSESE\\_OD2017\\_ago19.pdf/](https://transparencia.metrosp.com.br/sites/default/files/S%C3%8DNTSESE_OD2017_ago19.pdf/)>

Dos 21 postos, 14 foram eleitos como importantes para o estudo da rodovia Fernão Dias (Postos 801 a 811 e 814 a 816).

Os pontos da rodovia contaram com dois levantamentos<sup>35</sup>:

- Contagem volumétrica classificatória – CVC, abrangendo a contagem dos veículos de passageiros – automóveis, táxis, ônibus, vans e motocicletas – e dos veículos de carga;
- Entrevistas com ocupantes em amostra de veículos de passageiros e de carga, para a obtenção de dados das viagens, tais como local de origem, de destino, horários e motivos da viagem em 17 postos rodoviários de pesquisa.

<sup>34</sup> <http://www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od/>

<sup>35</sup> <http://www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od/>

#### 4.1.4.4.2 RMBH

Complementando a Pesquisa Domiciliar, a Pesquisa Origem e Destino de 2012 da RMBH<sup>36</sup> também contempla a Pesquisa na Linha de Contorno, que corresponde à linha imaginária que circunda o limite geográfico da Região Metropolitana de Belo Horizonte, investigando as viagens externas às RMBH (aquelas com origem ou destino fora da região, ou que a atravessam).

Todas as rodovias possíveis para entrada ou saída da RMBH foram cobertas, contemplando um total de 21 pontos de coleta, descritos na Tabela 23:

**Tabela 23 – Postos de Coleta da Linha de Contorno da Pesquisa Origem-Destino de RMBH**

Posto	Via	Localização/Descrição	Duração (2012)
1	BR-040	BR-040, Sentido Sete Lagoas, Posto de Fiscalização Estadual	3 dias, 0:00-24:00
2	Rodovia Municipal	Ligação Capim Branco - Prudente de Moraes	1 dia, 6:00-18:00
3	MG-424	MG-424, Km 40, saída para Sete Lagoas, Posto de Fiscalização Estadual	1 dia, 6:00-20:30
4	MG-323	MG-323, sentido Jequitibá entrada para Baldim	1 dia, 6:00-18:00
5	MG-010	MG-010, Km 92, sentido Santana do Riacho	1 dia, 6:00-20:30
6	BR-381 / BR-262	BR-381/BR-262, Km 399, Nova União, Posto de Fiscalização Estadual	3 dias, 0:00-24:00
7	BR-262	BR-262, Ligação Caeté - Barão de Cocais	1 dia, 6:00- 20:30
8	MG-030	MG-030, prox. BR-356, Km 53 - trevo de Itabirito entrada para Rio Acima	1 dia, 6:00-18:00
9	BR-356	BR-356, sentido Ouro Preto, Posto Policial	3 dias, 0:00-24:00
10	BR-040	BR-040, Km 570, sentido BH-Rio, Posto Paraíso das Águas	3 dias, 0:00-24:00
11	MG-040	MG-040, Brumadinho Av. Getúlio Vargas, saída para Bonfim	1 dia, 6:00-18:00
12	MG-040	MG-040, saída Rio Manso sentido Bonfim	1 dia, 6:00-18:00
13	MG-040	MG-040, prox. BR 381, Itaguara - Crucilândia	1 dia, 6:00-18:00
14	AMG1605	AMG-1605, Acesso BR-381 - Piracema	1 dia, 6:00-18:00
15	BR-381 / MG-260	BR-381, Km 525 - entroncamento com MG-260	3 dias, 0:00-24:00
16	MG-260	MG-260, entrada para Cláudio	1 dia, 6:00-20:30
17	MG-431	MG-431 - Ligação Itatiaiuçu - Itaúna	1 dia, 6:00-20:30
18	MG-050	MG-050, Km 76, Posto Policial Azurita (pedágio)	3 dias, 0:00-24:00
19	BR-262 / BR-352	BR-262/BR-352, entroncamento para Pará de Minas	3 dias, 0:00-24:00
20	Rodovia AFL-340	AFL-340, acesso entre Florestal e Pará de Minas	1 dia, 6:00-18:00
21	MG-060	MG-060, Esmeraldas estrada para Pequi.	1 dia, 6:00-18:00

Fonte: Elaboração LOGIT com base em <<http://www.agenciarmbh.mg.gov.br/pesquisa-od/>>

Destes, foram considerados relevantes para o presente estudo os postos 1, 6, 9 a 13, 15, 18 e 19.

## 4.2 Rede georreferenciada

A rede utilizada na macrossimulação de tráfego baseia-se em um banco de dados georreferenciado, criado com o uso do *software* de modelagem de transportes *PTV Visum*. O banco de dados é subdividido em bases (*layers*), nas quais são inseridas informações ou atributos necessários para o processo de modelagem.

A malha rodoviária é representada através da base de segmentos (*links*) e da base de nós. Tais bases são resultantes de estudos realizados anteriormente, sendo atualizadas constantemente com novas informações, incluindo as de levantamentos de campo.

<sup>36</sup> <http://www.agenciarmbh.mg.gov.br/pesquisa-od/>

Neste processo, são codificados ou atualizados atributos de cada *link* da rede, tais como a hierarquia viária, quantidade de faixas, a velocidade de fluxo livre, a capacidade da via e os segmentos de demanda permitidos (automóveis, caminhões leves e caminhões pesados).

Além dessas bases, uma terceira base contém as zonas de tráfego, que são as zonas de origem e destino das viagens alocadas no modelo de simulação. As zonas representam regiões administrativas com características razoavelmente homogêneas. Para efeito da modelagem da rede, considera-se que as viagens sejam geradas ou atraídas pelas principais manchas urbanas da zona.

As zonas são conectadas à rede viária através de uma base de conectores. Toda e qualquer viagem observada tem origem e/ou destino em uma zona, sendo alocadas aos conectores e links da rede conforme os caminhos de menor impedância (custo generalizado) que ligam os pontos de origem e destino. Os dados da contagem, agrupados por categoria e ajustados para hora pico por período e ponto, foram utilizados para ajustar e validar os volumes projetados nos links.

Os próximos itens apresentam detalhes sobre a montagem e desenvolvimento das bases de links e de zonas utilizadas no modelo de simulação de tráfego.

#### **4.2.1 Base de Zonas (Zoneamento)**

O zoneamento foi definido de forma a obter uma resolução espacial adequada da Rodovia Fernão Dias e seu entorno, buscando obter a melhor representação possível das viagens captadas no modelo de macrossimulação de tráfego.

As zonas de tráfego representam divisões administrativas existentes, sendo a menor divisão os setores censitários do IBGE. Os setores censitários foram agregados de forma a obter-se o zoneamento, tendo sido adotado nesse estudo as seguintes divisões, listadas em ordem crescente de agregação:

- Subdistrito;
- Distrito;
- Municípios;
- Microrregiões;
- Mesorregiões;
- Estados (Unidades Federativas).

O nível de agregação das zonas está intrinsecamente ligado ao nível de precisão que se deseja ter sobre a escolha e a representação das rotas dos usuários de determinada região no modelo de tráfego. Quanto mais distante da área de influência da Rodovia Fernão Dias, mais agregadas são as zonas de tráfego, uma vez que o maior interesse está justamente no entorno da Rodovia. Regiões que usam os mesmos acessos para a Dutra tem mesmo comportamento de tráfego e, portanto, podem ser consideradas dentro de uma mesma zona de tráfego.

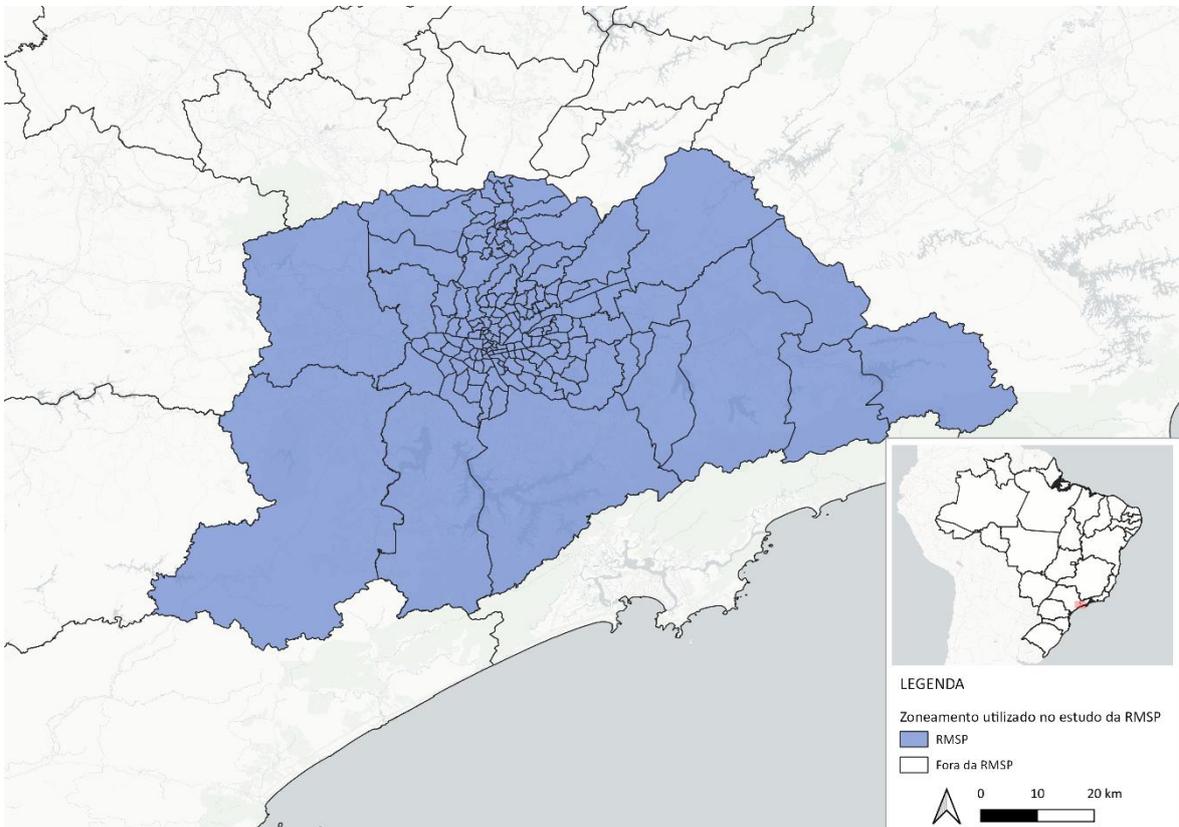
Foram adotados diferentes zoneamentos para cada uma das regiões metropolitanas, ilustrados na Figura 38 e Figura 39 para a RMSP e na Figura 40 e Figura 41 para a RMBH. Tal zoneamento foi usado como referência para a extração de matrizes de telefonia, sendo as demais fontes de dados de matrizes de viagens compatibilizadas com o zoneamento do estudo por meio dos processos descritos no Capítulo 4.3.

**Figura 38 – Zoneamento utilizado no estudo da RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 39 – Zoneamento utilizado no estudo da RMSP (em destaque, a RMSP)**



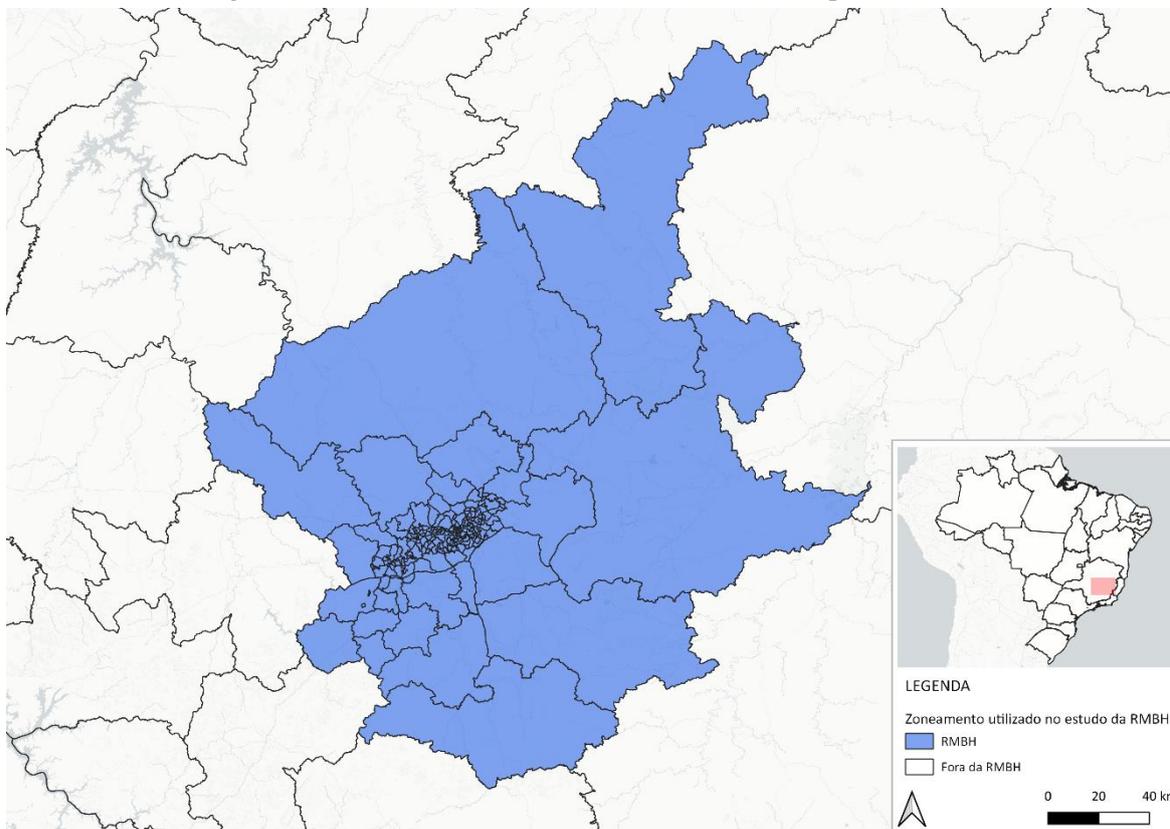
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 40 – Zoneamento utilizado no estudo da RMBH**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 41 – Zoneamento utilizado no estudo (em destaque, a RMBH)**



Fonte: Elaboração LOGIT

No total, foram consideradas 224 zonas para o estudo da RMSP e 291 zonas para a RMBH.

#### 4.2.2 Base de *Links* (Rede Viária)

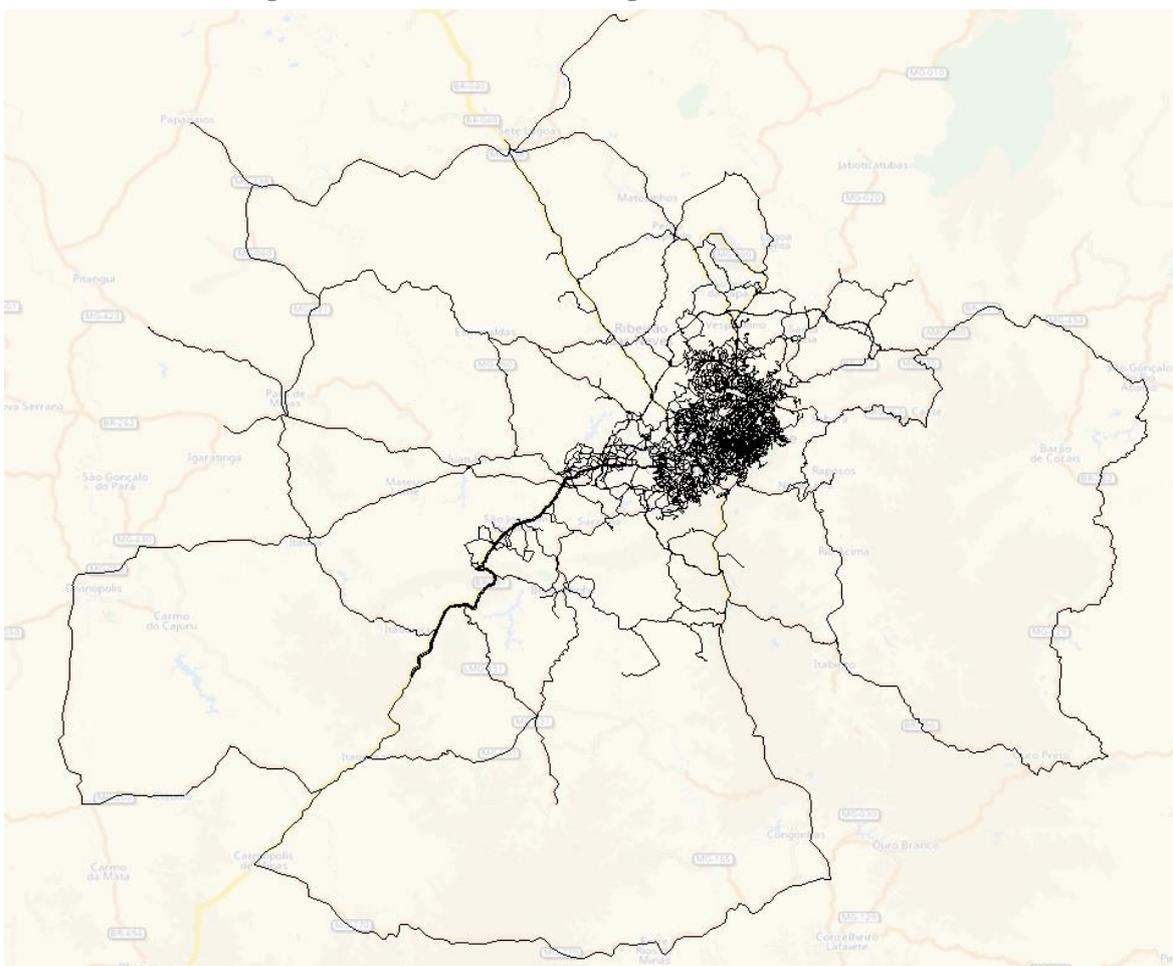
A base de links representa a malha rodoviária nacional, contendo atributos como velocidade de fluxo livre (v0), tarifas de pedágio, hierarquia viária, capacidade da via, quantidade de faixas, modos de transporte permitido etc. A Figura 42 e a Figura 43 ilustram as bases de *links* na rede georreferenciada utilizada para a RMSP e para a RMBH.

**Figura 42 – Base de *links* na rede georreferenciada da RMSP (zoom na região metropolitana do estudo)**



Fonte: Elaboração LOGIT

Figura 43 – Base de *links* na rede georreferenciada da RMBH



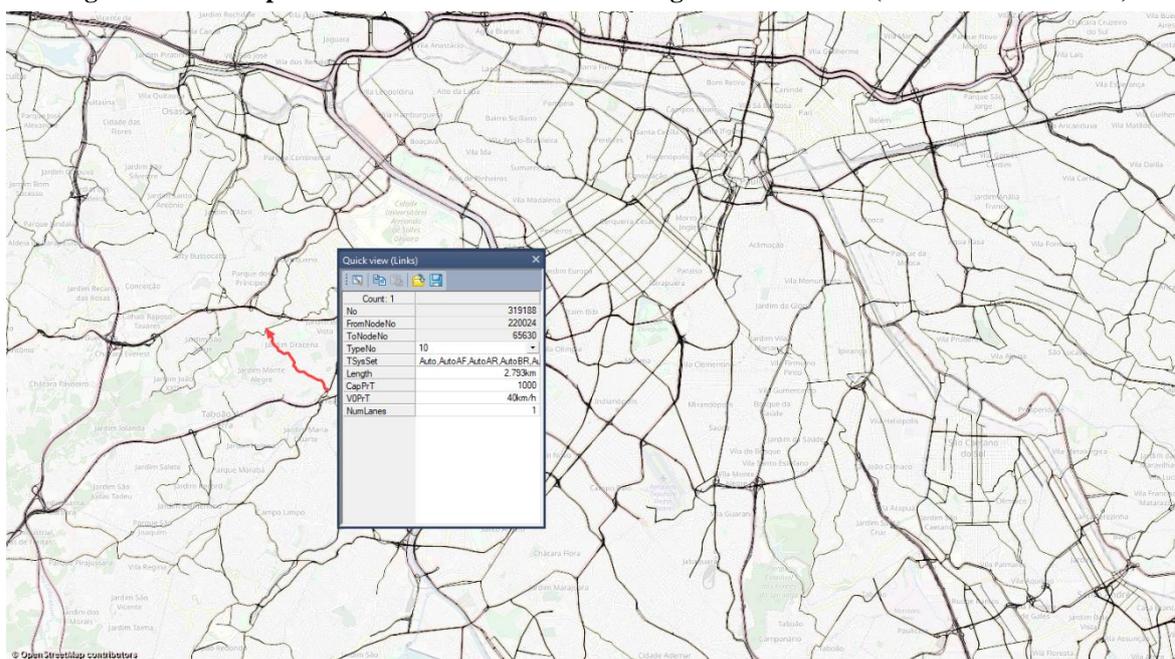
Fonte: Elaboração LOGIT

Foi dada atenção especial aos *links* contidos na região de influência da Rodovia Fernão Dias e seu entorno, cujos atributos foram atualizados com informações coletadas com análise de dados secundários tais como mapas rodoviários (DER, ANTT), *softwares* de mapas e dados de satélite (*Google Earth, Google Maps, OpenStreetMap*), outras redes georreferenciadas (DNIT, EPL), etc.

A Figura 44 apresenta a interface do *PTV Visum* com um *link* selecionado, exibindo alguns atributos preenchidos para esse *link* da rede georreferenciada:

- **TypeNo:** Identifica o *Link Type* do *link* da rede georreferenciada (no exemplo: “Coletora”);
- **TSysSet:** Identifica os segmentos de demanda atendidos pela via;
- **Length:** Identifica o comprimento do *link* (no exemplo: “2,793 km”);
- **CapPrT:** Identifica a capacidade de veículos privados, automóveis e caminhões do *link*;
- **VOPrT:** Identifica a velocidade de fluxo livre do *link*;
- **NumLanes:** Identifica o número de faixas do *link* (do período do dia ativo);
- dentre outros atributos de suporte.

**Figura 44 – Exemplo de atributos de um link da rede georreferenciada (Interface PTV Visum)**

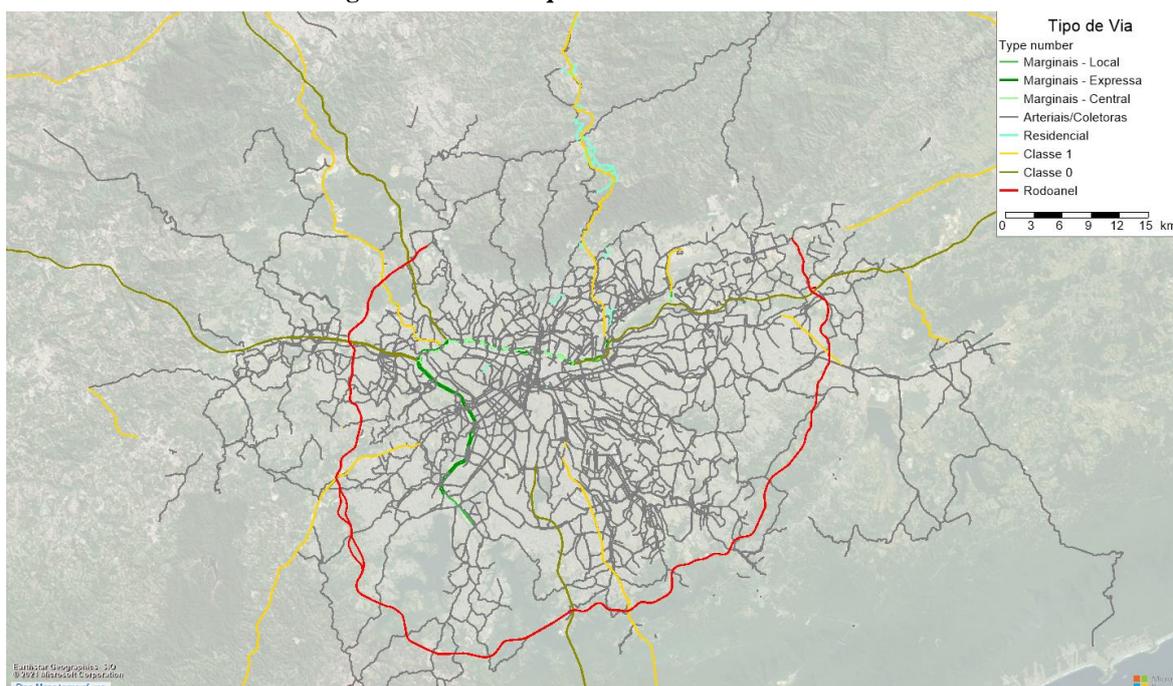


Fonte: Elaboração LOGIT

#### 4.2.2.1 Hierarquia Viária

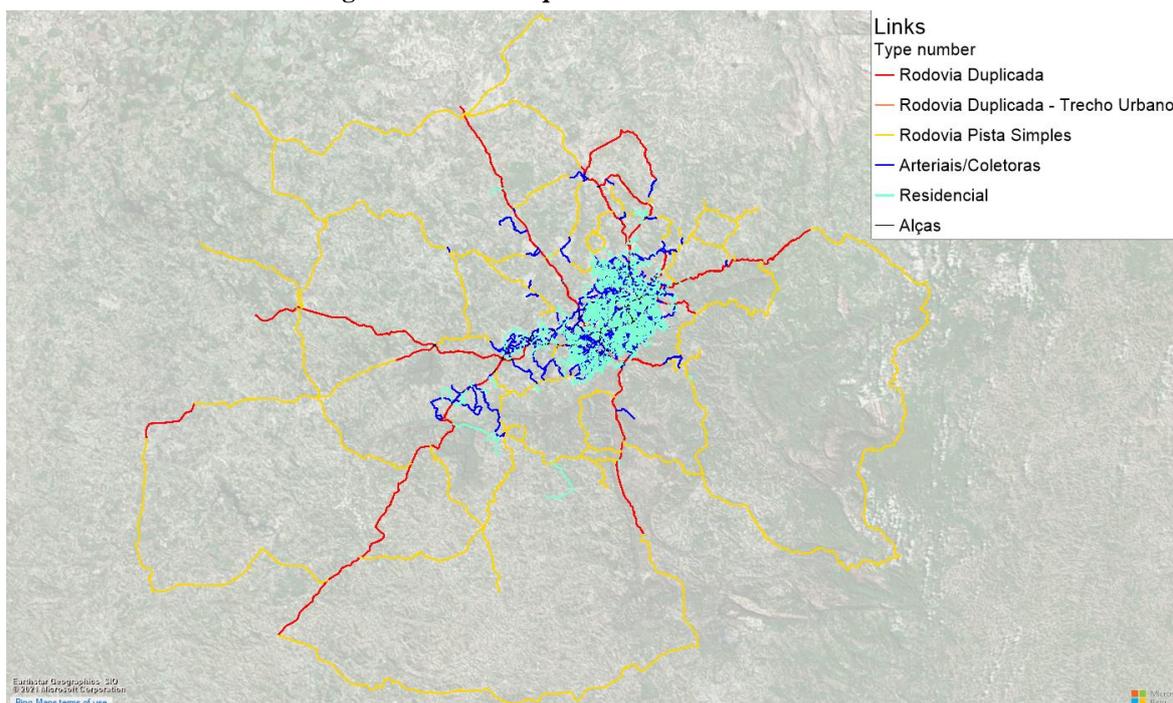
Depois de estabelecida a rede viária a ser utilizada, os links foram codificados em categorias viárias comumente utilizadas em estudos de tráfego, incluindo especificidade de vias urbanas. A classificação das vias é a principal referência no desenvolvimento de estudos de tráfego, pois com ela serão definidos os parâmetros de operação, como velocidade, capacidade e as funções de atraso, assim como os parâmetros geométricos. A Figura 45 e a Figura 46 apresentam especialmente a alocação de tipologias viárias na rede georreferenciada de links de RMSP e RMBH, respectivamente.

**Figura 45 – Hierarquia viária da rede de RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 46 – Hierarquia viária da rede de RMBH**



Fonte: Elaboração LOGIT

A rodovia de estudo foi considerada com a tipologia de Classe 1 em RMSP e Rodovia Duplicada (em trecho urbano e não urbano) em RMBH.

Na Tabela 24 e na Tabela 25 a seguir são apresentadas as características adotadas para as tipologias básicas de links consideradas nas redes de estudo:

**Tabela 24 – Hierarquia viária básica da rede de RMSP**

Nome	Tipologia	Capacidade ( $V_{eq}/faixa$ )	Velocidade (km/h)
Marginais - Local	Arterial	1.600	60
Arterial 50	Arterial	1.200	50
Arterial 60	Arterial	1.200	50
Arterial 70	Arterial	1.400	60
Coletora 40	Coletora	1.000	40
Coletora 50	Coletora	1.000	50
Coletora 60	Coletora	1.000	50
Rodoanel	Rodovia	2.000	100
Rodovia Classe 0	Rodovia	2.000	120
Estrada	Via Expressa	1.400	70
Marginais - Expressa	Via Expressa	2.000	90
Rodovia Classe 1	Via Expressa	1.800	100
Rodovia Classe 1 Concedida	Via Expressa	1.800	110
Marginais - Central	Via Rápida	1.800	70
Marginal Rodovia	Via Rápida	1.500	90

Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 25 – Hierarquia viária básica da rede de RMBH**

Nome	Tipologia	Capacidade ( $V_{eq}/faixa$ )	Velocidade (km/h)
Arterial 30	Arterial	800	30
Arterial 40	Arterial	980	40
Arterial 50	Arterial	1.200	50
Arterial 60	Arterial	1.650	60
Coletora 25	Coletora	700	25
Coletora 30	Coletora	875	30
Coletora 40	Coletora	875	40
Rodovia Duplicada	Rodovia	2.250	90
Rodovia Duplicada - Trecho Urbano	Via Expressa	1.800	80
Rodovia Pista Simples	Via Expressa	1.850	70

Fonte: Elaboração LOGIT

Os links da rede viária foram definidos como:

- Rodovia

Via de trânsito rápido com a função de conectar a região metropolitana a municípios de outras regiões do estado ou mesmo do país sem que seja necessário o cruzamento de trechos urbanos para isso. Possuem total segregação do tráfego local, apresentando acessos e saídas restritos. Todas com pagamento de pedágio.

- Vias Expressas

São as vias que funcionam como eixos estruturadores do sistema viário. Comportam volumes significativos de veículos e possuem alta velocidade de circulação (acima de 70km/h), quando em condições de fluxo livre. Essas vias unem importantes zonas de geração e atração de tráfego e possuem principalmente a característica de fluxo de passagem. São as vias mais atrativas aos usuários que realizam grandes deslocamentos dentro da malha viária.

Por definição, a fluidez é prioridade nestas vias. Para isso, estas vias não possuem cruzamentos em nível e interconexões específicas.

- Via Rápida

Consideradas como vias que possuem velocidade elevada, mas cujo fluxo apresenta constantes conflitos de veículos ingressando ou reduzindo para sair da via. Realizam a conexão de vias expressas ou rodovias ao sistema viário urbano.

- Vias Arteriais

São vias especificamente urbanas capazes de transportar elevados volumes de tráfego entre as principais zonas de atração e geração de viagens. As velocidades praticadas são altas e possuem preferência nos cruzamentos. Quando houver interseções em nível, estas devem ser semaforizadas somente em cruzamentos com outras vias hierarquicamente importantes.

O sistema de vias arteriais normalmente cobre as cidades considerando um espaçamento médio de 1 a 2 km entre vias.

- Vias Coletoras

São as vias que possuem a função de coletar o tráfego e distribuí-lo dentro das áreas urbanas ou em vias artérias e expressas. Além desta função, também servem como acesso à terrenos lindeiros.

O fluxo de tráfego é constantemente interrompido por cruzamentos semaforizados sem prioridade. Neste tipo de via é considerado como principal função a acessibilidade local, sendo que a fluidez não deve ser o foco.

#### 4.2.2.2 Funções de Atraso

Diversos tipos de funções podem ser considerados para a descrição da relação entre fluxo (em um segmento viário) e demora (para percurso do respectivo segmento), sendo as de uso mais consagrado as funções BPR (*Bureau of Public Roads*, 1964) e cônicas, como a Akçelic (AKÇELIC, 1991), descritas abaixo:

$$t_{BPR} = t_o * \left( 1 + \alpha * \left( \frac{v}{k * c} \right)^\beta \right) \quad (6)$$

$$t_{Akç} = t_o * \left\{ 1 + 0,25 * \frac{T}{t_o} * \left[ \frac{v}{k * c} - 1 + \sqrt{\left( \frac{v}{k * c} - 1 \right)^2 + \frac{8 * J}{k * c * T} * \frac{v}{k * c}} \right] \right\} \quad (7)$$

onde,

$t_{BPR}$ : tempo de viagem por quilômetro estimado através da curva BPR (h/km);

$t_{Akç}$ : tempo de viagem por quilômetro estimado através da curva Akçelik (h/km);

$t_o$ : tempo de viagem por quilômetro - fluxo livre (horas/km);

$\frac{v}{c}$ : razão volume-capacidade, ou grau de saturação;

$T$ : duração do intervalo de análise (horas); e

***J,  $\alpha, \beta, k$*** : coeficientes de calibração.

É indicado pela literatura técnica que as curvas BPR tenham melhor aderência à operação do tráfego em rodovias, ao passo que as curvas Akçelik adequam-se mais a contextos urbanos, onde atrasos em interseções fazem-se mais relevantes. As curvas foram assim utilizadas.

#### **4.2.2.3 Restrições de Circulação de Caminhões**

Foram inventariadas e então cadastradas junto à base georreferenciada de links as restrições de circulação de caminhões vigentes no município de São Paulo e de Belo Horizonte, a fim de permitir a representação mais fidedigna das condições operacionais na malha viária do entorno da Rod. Fernão Dias.

##### **4.2.2.3.1 RMSP**

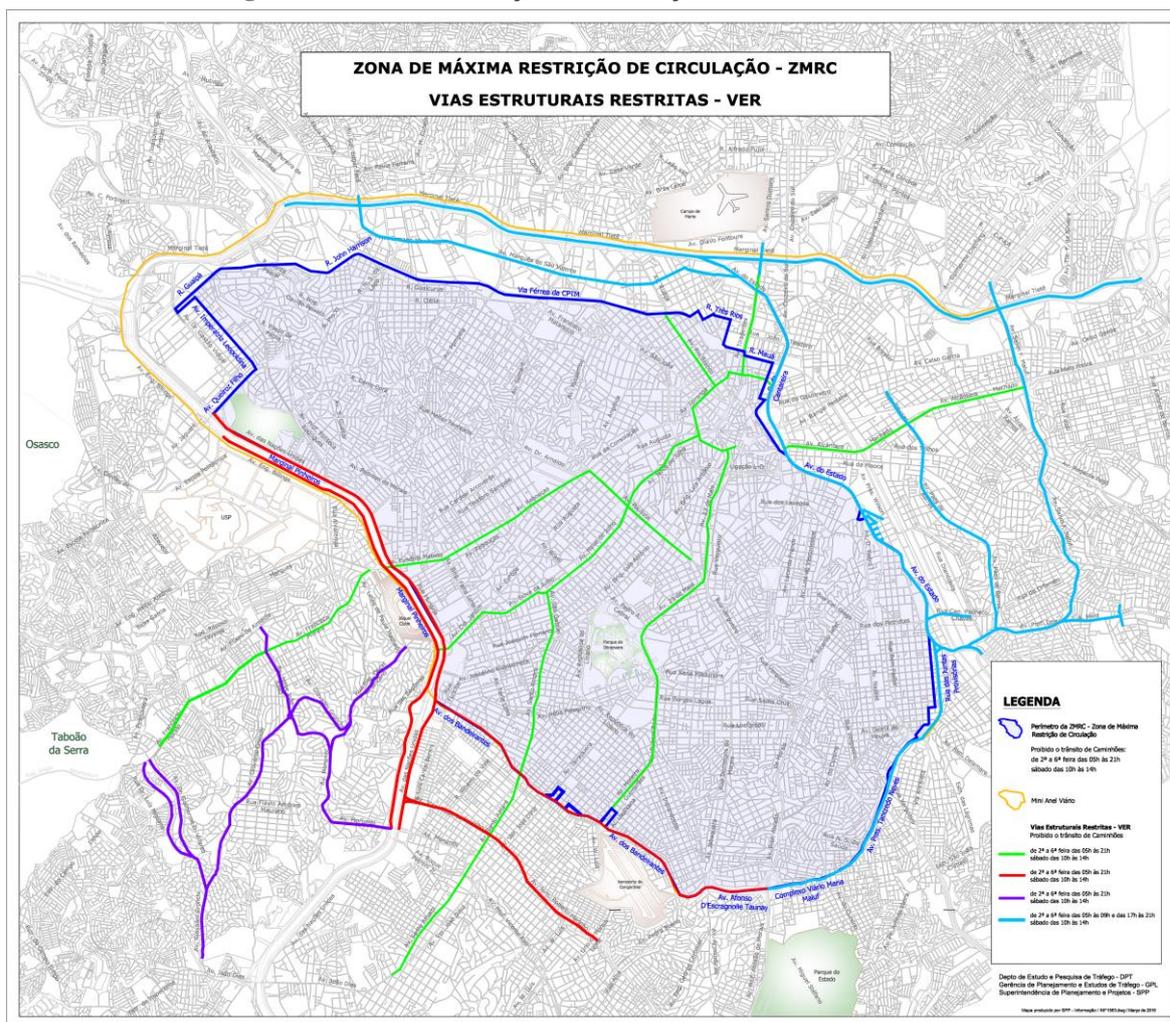
O Município de São Paulo possui vários tipos de restrição ao trânsito de caminhões. A Zona Máxima Restrição de Circulação - ZMRC é um dos tipos e foi implantada pela primeira vez em 1986 e atualmente abrange uma área com cerca de 100 km<sup>2</sup>, interna ao Centro Expandido, em que a circulação de caminhões (exceto VUC, conforme rodízio municipal) é proibida de 2<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup> feira das 05h às 21h e aos sábados das 10h às 14h. Outro tipo de restrição ao caminhão são as chamadas Vias Estruturais Restritas – VER, que são vias estratégicas para a fluidez do trânsito, cujas exceções são menos flexíveis que as da ZMRC e cujas janelas de restrição variam em três categorias.

Tanto ZMRC como VER são descritas no § 1º do artigo 2º da Portaria nº 137/18-SMT.GAB, no § 4º do artigo 2º da Portaria nº 137/18-SMT.GAB e no §§ 2º e 3º do artigo 2º da Portaria nº 137/18-SMT.GAB, podendo ser digitalmente visualizadas no próprio *site* da CET-SP. A Figura 47 compila tais informações em um único mapa, mantendo as cores determinadas pela CET-SP.

A categoria VER-1 contempla vias cuja proibição de circulação compreende as mesmas janelas de restrição da ZMRC, porém VUC também são proibidos de trafegar. A categoria VER-2 contempla vias cuja restrição compreende as mesmas janelas de restrição da ZMRC, porém, no entropicos (09h às 17h) o tráfego é liberado, sendo que nessas vias a circulação de VUC é somente controlada pelo rodízio municipal. A categoria VER-3 possui mesmas especificações de restrição da ZMRC.

Os caminhões que não têm condições de efetuar seus serviços em horários diferentes aos locais com restrição ao seu trânsito são determinados como exceção à tais imposições, desde que devidamente autorizados. São eles prestadores de serviços de urgência, serviço de utilidade pública, serviços públicos essenciais, casos de emergência que tratam de situações de risco, serviços em obras e outros previstos em legislação específica de âmbito Federal ou Estadual. A lista descritiva e exaustiva se encontra no *site* da CET-SP (<http://www.cet-sp.com.br/consultas/caminhoes/locais-com-restricao-ao-caminhao.aspx>).

Figura 47 – Vias de restrição de circulação de caminhões e ZMRC



Fonte: Extraído de CET-SP <http://www.cetsp.com.br/consultas/caminhoes/mapa.aspx>

#### 4.2.2.3.2 RMBH

Na RMBH, as restrições são definidas nas Portarias BHTRANS – DPR 138/2009 e 077/2014, conforme Figura 48 e Tabela 26.

Figura 48 – Vias de restrição de circulação de caminhões na RMBH



Fonte: Portarias BHTRANS – DPR 138/2009 e 077/2014

Tabela 26 – Horários de restrição das vias para circulação de caminhões

	Veículos com capacidade de carga acima de 5 toneladas ou comprimento superior a 6,5m			Cavalos mecânicos e carretas		
	2ª a 6ª feira	Sábado	Domingo	2ª a 6ª feira	Sábado	Domingo
Área central (Hipercentro, Savassi, Lourdes, Assembleia/Barro Preto, Hospitalar) e <b>Av. Nossa Sra. Do Carmo</b>	7h às 20h	7h às 15h	Livre	Proibido 24h	Proibido 24h	Proibido 24h
<b>Corredores de tráfego</b>	7h às 9h e 17h às 20h	7h às 9h	Livre	7h às 9h e 17h às 20h	7h às 9h	Livre
<b>Av. do Contorno entre R. dos Inconfidentes e R. Ceará, neste sentido, e Av. do Contorno entre R. Andaluzita e Av. Afonso Pena, neste sentido (tobogã da Av. do Contorno)</b>	Proibido 24h	Proibido 24h	Proibido 24h	Proibido 24h	Proibido 24h	Proibido 24h

Fonte: Portarias BHTRANS – DPR 138/2009 e 077/2014

### 4.3 Matrizes Origem-Destino

Este capítulo consiste em apresentar o processo de obtenção da matriz OD de viagens, o qual considera diversas fontes de dados para a construção de uma matriz semente, que por sua vez passa por um processo de calibração e é ajustada para que suas viagens alocadas na rede de simulação reproduzam os volumes observados em contagens de tráfego.

A composição da matriz semente considera como fonte de dados, para a RMSP e para a RMBH, as matrizes domiciliares, as matrizes de cargas, as matrizes interceptadas e a matriz de telefonia contratada especificamente para o estudo metropolitano. Cada componente de insumo para a composição da matriz semente é descrita nos itens subsequentes. Em seguida, apresenta-se a matriz resultante a partir do processo de calibração do modelo, ajustando a matriz semente conforme dados processados de CVCs.

#### 4.3.1 Matrizes Domiciliares

As matrizes origem-destino domiciliares foram utilizadas com uma das componentes para a obtenção das matrizes do estudo metropolitano da RMSP e RMBH. Contudo, algumas adaptações foram necessárias para poder utilizá-las adequadamente, seja no horizonte de tempo como no zoneamento.

O primeiro ajuste realizado foi a segmentação das matrizes-dia para hora-pico por período (manhã e tarde: HPM e HPT, respectivamente), sendo realizado de forma mais trivial – realizando um filtro das viagens em cada período pico (sendo o período-pico manhã considerado entre 6h e 10h, e o período-pico tarde entre 16h30 e 20h30), e aplicado um fator de período-pico para hora-pico.

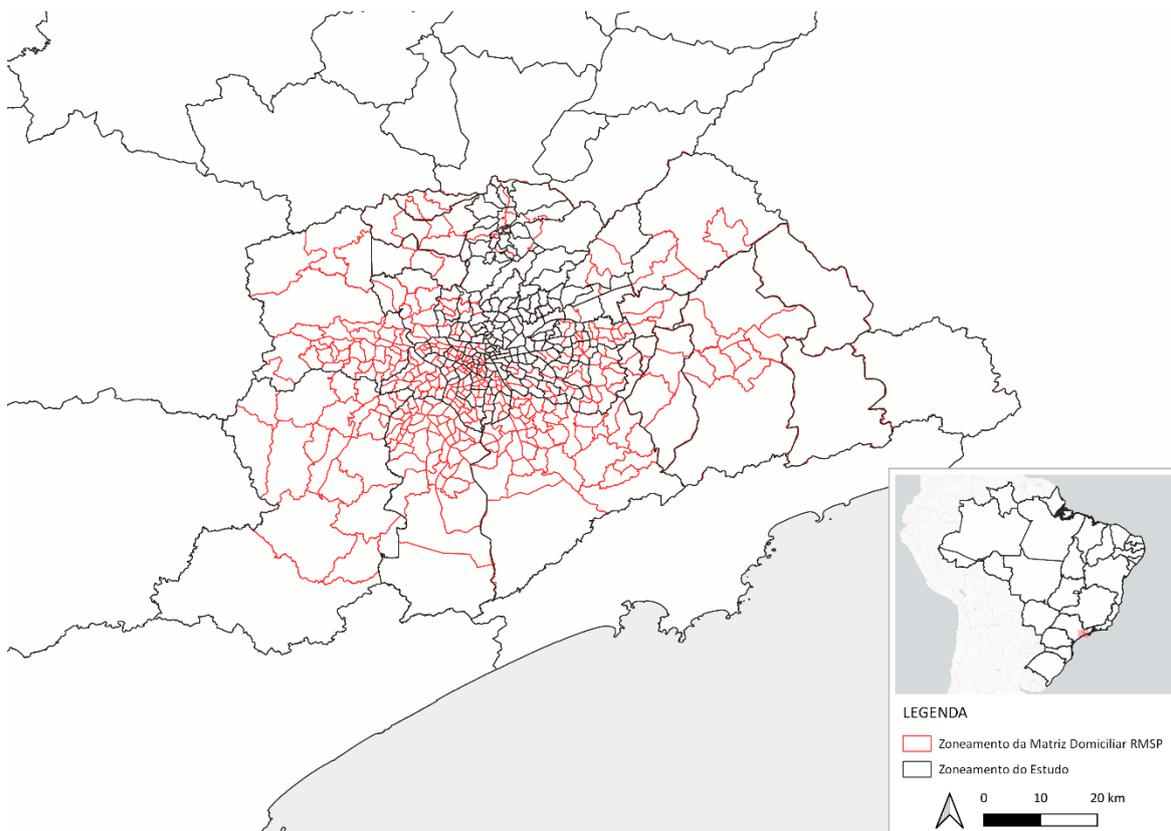
Ainda, foi aplicado um fator de ocupação, devido à metodologia utilizada nas pesquisas domiciliares, que contabiliza o número de passageiros e motoristas dos veículos de passeio.

Já o segundo ajuste se refere à compatibilização da matriz de viagens para o zoneamento do estudo metropolitano, sendo esta adaptação um pouco mais complexa.

##### 4.3.1.1 RMSP

As entrevistas da Pesquisa Origem-Destino do Metrô apresentavam uma maior especificação de bairros de origem e destino do que o zoneamento do presente estudo, sendo necessária uma agregação de zonas. Pode-se observar na Figura 49 as diferenças do zoneamento do estudo da Pesquisa Origem-Destino do Metrô (com bordas em vermelho) e do presente estudo (com bordas em preto), sendo o zoneamento do primeiro mais detalhado, presente apenas dentro da RMSP, enquanto o zoneamento do segundo é menos detalhado, englobando regiões fora da RMSP.

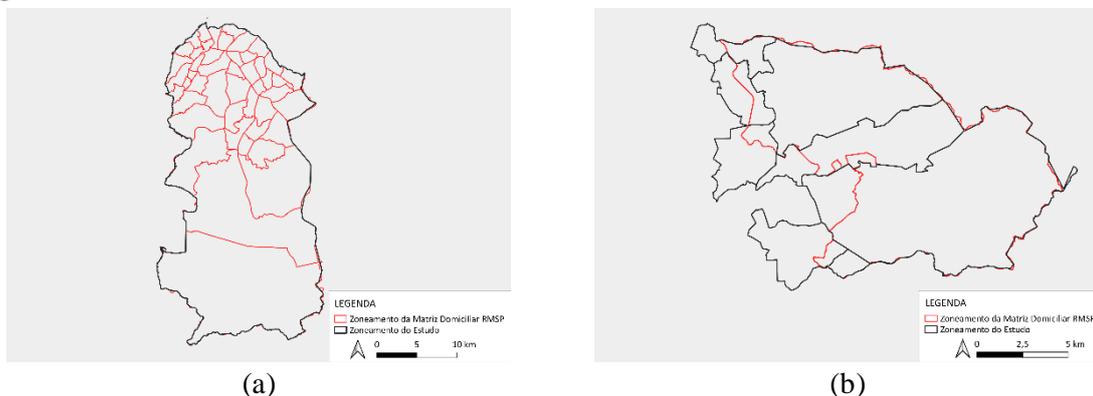
**Figura 49 – Comparação do Zoneamento da Pesquisa Origem-Destino do Metrô e do Zoneamento do estudo**



Fonte: Elaboração LOGIT

Para compatibilizá-los, há algumas situações que exigem maior precaução. Na Figura 50 são apresentadas duas situações distintas para serem observadas. A imagem no item (a) corresponde à situação em que mais de uma zona do zoneamento da pesquisa domiciliar (em vermelho) está contida em uma zona do presente estudo (em preto), enquanto no item (b) corresponde à situação em que há sobreposição de zonas, estando uma mesma zona do presente estudo dividida entre várias zonas do zoneamento da pesquisa domiciliar, e vice-versa.

**Figura 50 – (a) N zonas da matriz domiciliar, 1 zona do estudo; (b) Nenhuma zona totalmente contida**



Fonte: Elaboração LOGIT

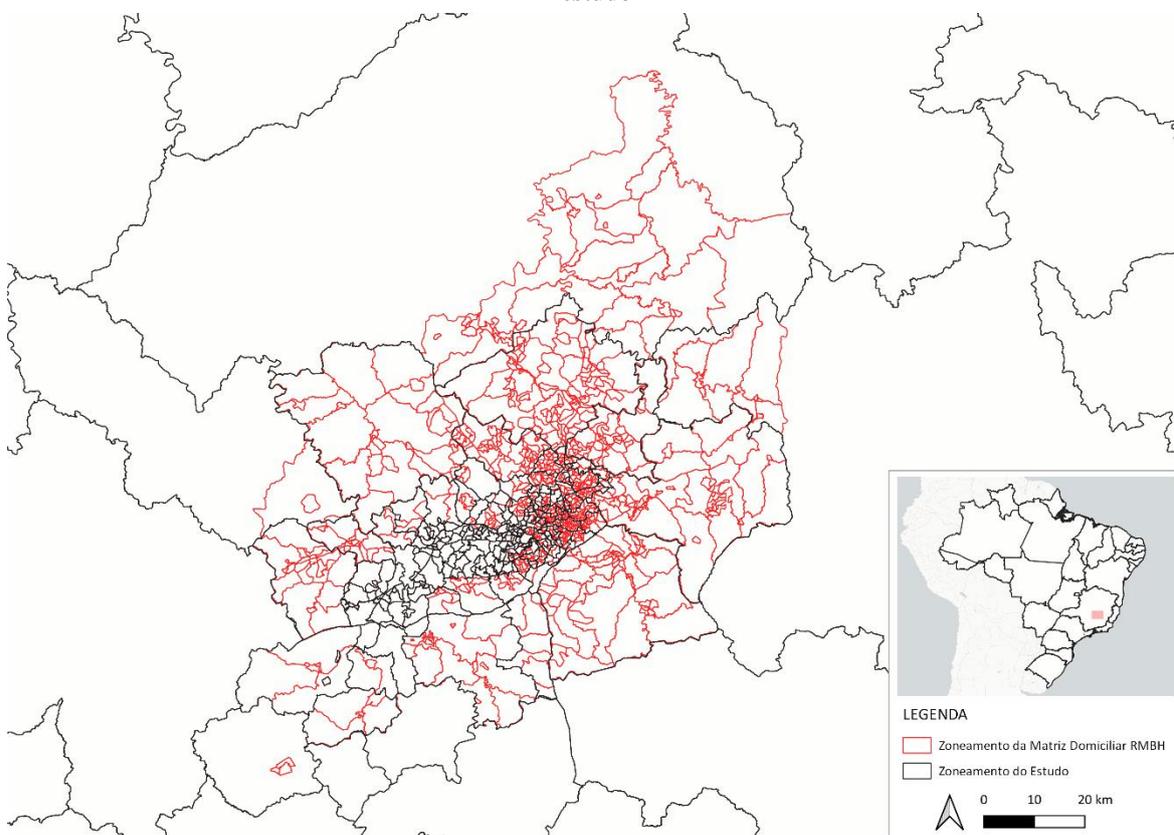
No caso (a), em que N zonas do regional estão dentro de 1 zona do urbano, a compatibilização é trivial, uma vez que as N zonas podem ser diretamente agregadas a uma zona do urbano. Porém, no caso (b), em que há sobreposição de zonas entre os estudos, é necessário determinar e redistribuir o fluxo.

Para tanto, decidiu-se redistribuir as entrevistas do tipo (b) em função da área dos zoneamentos. Assim, foram contabilizadas as áreas de todas as zonas envolvidas (da pesquisa domiciliar e do presente estudo), e feita a distribuição da parcela de viagens proporcionalmente.

#### 4.3.1.2 RMBH

As entrevistas da Pesquisa Origem-Destino de RMBH apresentavam uma maior especificação de zonas de origem e destino do que o zoneamento do presente estudo, sendo necessária uma agregação de zonas. Pode-se observar na Figura 51 as diferenças do zoneamento do estudo da Pesquisa Origem-Destino de RMBH (com bordas em vermelho) e do presente estudo (com bordas em preto), sendo o zoneamento do primeiro mais detalhado, presente apenas dentro da RMBH, enquanto o zoneamento do segundo é menos detalhado, englobando regiões fora da RMBH.

**Figura 51 – Comparação do Zoneamento da Pesquisa Origem-Destino da RMBH e do Zoneamento do estudo**



O caso de RMBH consistiu apenas de casos do tipo (a) da Figura 50 apresentada anteriormente para a RMSP, isto é, situações em que mais de uma zona do zoneamento da pesquisa domiciliar está contida em uma zona do presente estudo, sendo a compatibilização trivial, uma vez que as N zonas podem ser diretamente agregadas a uma zona do urbano.

#### 4.3.2 Matrizes de Cargas

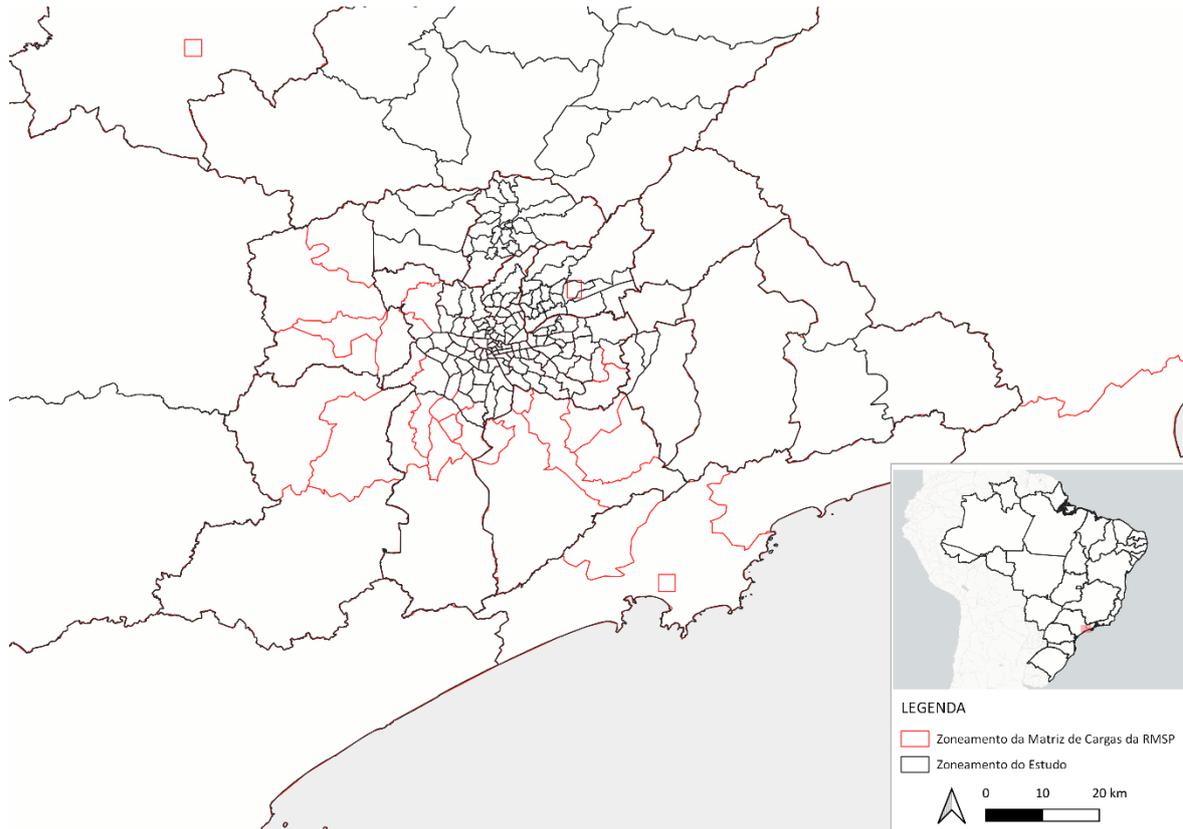
Assim como no caso das matrizes domiciliares, algumas adaptações foram necessárias para poder utilizar as matrizes de carga adequadamente, segmentando as matrizes-dia para hora-pico, por

período (manhã e tarde, HPM e HPT respectivamente) e compatibilizando a matriz de viagens para o zoneamento do estudo metropolitano.

#### 4.3.2.1 RMSP

Pode-se observar na Figura 52 as diferenças do zoneamento do estudo da Pesquisa Origem-Destino de Cargas de RMSP (com bordas em vermelho) e do presente estudo (com bordas em preto).

**Figura 52 – Comparação do Zoneamento da Pesquisa Origem-Destino de Cargas da RMSP e do Zoneamento do estudo**



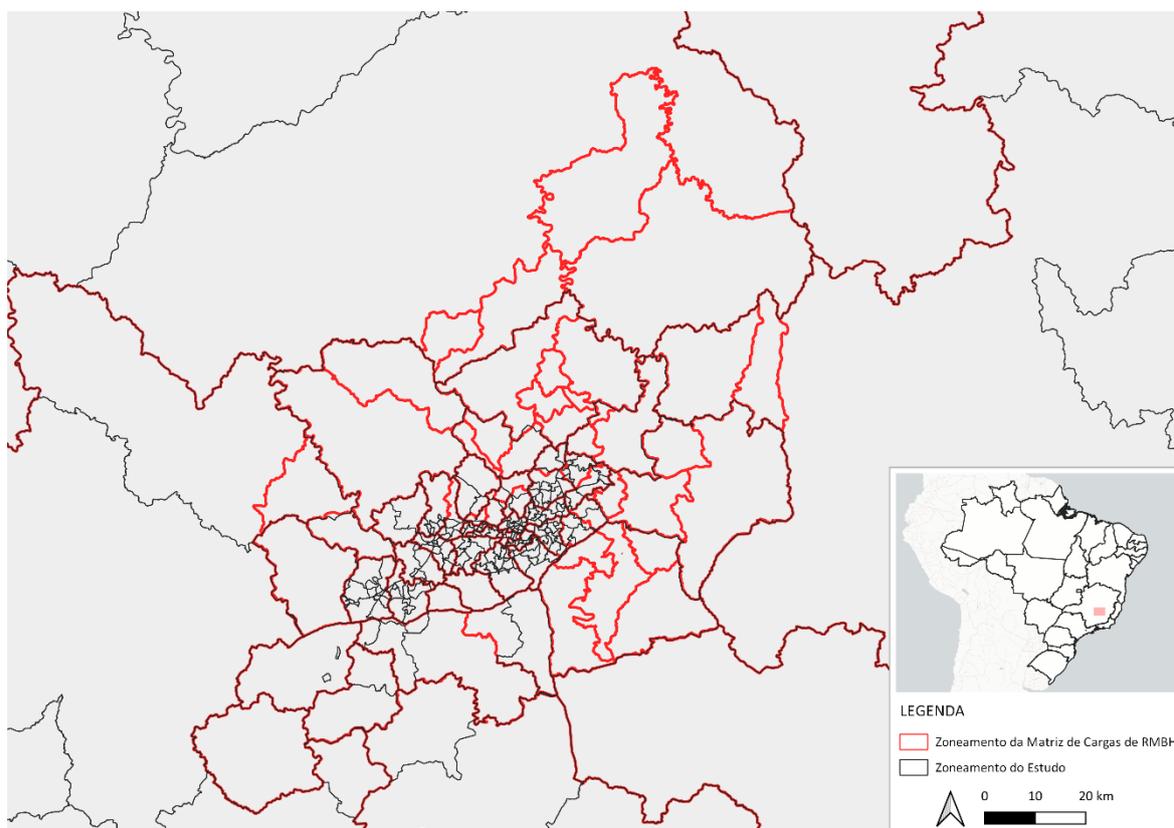
Fonte: Elaboração LOGIT

Este caso consiste de situações do tipo (a) da Figura 50 apresentada anteriormente para a RMSP (isto é, situações em que mais de uma zona do zoneamento da pesquisa domiciliar está contida em uma zona do presente estudo, sendo a compatibilização trivial, uma vez que as N zonas podem ser diretamente agregadas a uma zona do urbano), bem como do caso contrário, isto é, mais de uma zona do presente estudo contida em uma zona da pesquisa Origem Destino, sendo necessária a divisão das viagens da pesquisa proporcionalmente às áreas das zonas do estudo.

#### 4.3.2.2 RMBH

Na RMBH, a Figura 53 ilustra as diferenças do zoneamento do estudo da Pesquisa Origem-Destino de Cargas de RMBH (com bordas em vermelho) e do presente estudo (com bordas em preto).

**Figura 53 – Comparação do Zoneamento da Pesquisa Origem-Destino de Cargas da RMBH e do Zoneamento do estudo**



Fonte: Elaboração LOGIT

Este caso consiste de situações do tipo (a) da Figura 50 apresentada anteriormente para a RMSP (isto é, situações em que mais de uma zona do zoneamento da pesquisa domiciliar está contida em uma zona do presente estudo, sendo a compatibilização trivial, uma vez que as N zonas podem ser diretamente agregadas a uma zona do urbano), bem como do caso contrário, isto é, mais de uma zona do presente estudo contida em uma zona da pesquisa Origem Destino, sendo necessária a divisão das viagens da pesquisa proporcionalmente às áreas das zonas do estudo.

### **4.3.3 Matrizes Interceptadas**

Novamente, algumas adaptações foram necessárias para poder utilizar a pesquisa adequadamente, segmentando a matriz-dia para hora-pico, por período (manhã e tarde: HPM e HPT, respectivamente) e compatibilizando a matriz de viagens para o zoneamento do estudo metropolitano.

#### **4.3.3.1 Linhas de Contorno**

As matrizes das pesquisas nas linhas de contorno precisaram de um tratamento especial com relação ao fator de expansão, devido ao baixo número de amostras em alguns dos postos selecionados, sendo necessárias flexibilizações para aumentar este número, a saber:

- 1) Considerar apenas amostras do respectivo período pico e sentido;

2) Complementar a flexibilização (1) com amostras do outro período pico e do sentido oposto, invertendo origens e destinos (aplicando um fator de 80% para esse complemento);

3) Complementar a flexibilização (2) com amostras do mesmo período pico e sentido oposto, invertendo origens e destinos (aplicando um fator de 40% a esse complemento);

4) Complementar a flexibilização (3) com amostras do outro período pico e mesmo sentido, sem invertendo origens e destinos (aplicando um fator de 30% a esse complemento); e

5) Complementar a flexibilização (4) com toda a amostra (todos os períodos, incluindo fora-pico) de ambos os sentidos, invertendo origens e destinos quando for relativo ao sentido oposto (aplicando um fator de 15% a esse complemento).

Foi adotado o seguinte critério para o número de amostras ser considerado suficiente para a expansão das pesquisas:

- (i) Interrompe-se a flexibilização do critério do filtro amostral ao se atingir 50 amostras; e
- (ii) Ao final da 5ª flexibilização, todos os postos com mais de 30 amostras por sentido/período são considerados adequados.

Para a RMSP, o zoneamento utilizado para a pesquisa de linha de contorno foi similar ao utilizado na Pesquisa Domiciliar do Metrô (Figura 29), porém com a presença de zonas externas à RMSP, associadas a seus códigos municipais de sete dígitos do IBGE. Assim, foi necessário o mesmo tratamento dado à matriz domiciliar da RMSP. Após a aplicação das flexibilizações necessárias para a amostragem, restaram 13 postos na RMSP: 801 a 810 e 814 e 815.

Na RMBH o tratamento das zonas para a compatibilização com o zoneamento do estudo também manteve o realizado para as matrizes domiciliares, por se tratar da mesma fonte de dados. Após a aplicação das flexibilizações necessárias para a amostragem, restaram 7 postos na RMBH: 6, 9, 10, 12, 15, 18 e 19.

#### **4.3.3.2 Praças de Pedágio**

O zoneamento utilizado nas pesquisas Origem-Destino das praças de pedágio da Arteris estava associado a nomes de municípios. Sendo assim, para aqueles municípios contidos em zonas do presente estudo maiores do que o próprio município, as viagens foram englobadas nessas zonas. Já para os municípios que no zoneamento do estudo estavam desagregados em regiões menores, as viagens foram distribuídas proporcionalmente às áreas dessas zonas menores.

#### **4.3.4 Matrizes de Telefonia**

Por fim, a última componente das matrizes foi a de telefonia. Conforme comentado anteriormente, os volumes e os vetores de produção e atração de viagens dos dados de telefonia a princípio podem possuir células indeterminadas para atender a normas de privacidade no fornecimento dos dados. Apesar do valor de 10 viagens (valor mínimo que pode ser explicitado) parecer desprezível, a “perda” de diversos pares de menor volume pode se tornar relevante durante o processamento das submatrizes OD (frequência, DTD, dia da semana e faixa horária), e o simples descarte dessas células indeterminadas poderia impactar até mesmo o carregamento das vias durante a alocação da matriz OD à rede georreferenciada.

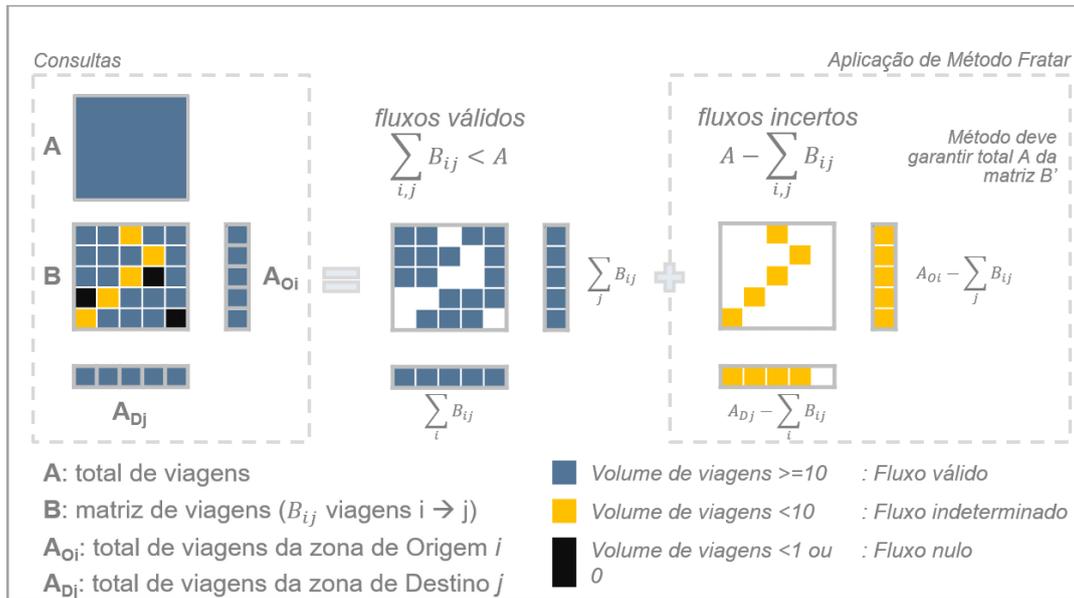
Como uma abordagem para recuperar a informação dessas células indeterminadas, foram aplicados algoritmos numéricos iterativos que, com base em condições de contorno conhecidas (como vetores de origem e destino de viagens e o volume total do par OD, no caso de células de submatrizes), buscam recuperar o valor das células originalmente indeterminadas.

A abordagem consistiu em três níveis de resolução: um primeiro para determinar as viagens incógnitas por par OD; um segundo para definir as viagens incógnitas por categoria das variáveis (por exemplo, viagens por par OD no período pico manhã); e um terceiro para determinar as viagens incógnitas nos cruzamentos das categorias das variáveis (por exemplo, viagens por par OD no período pico manhã [variável 1] de segunda-feira [variável 2]).

O primeiro nível trata da aplicação de um método de distribuição de viagens denominado Fratar. Tal método consiste em distribuir viagens entre zonas  $i$  e  $j$  com base nos totais de viagens com origem na zona  $i$  e no total de viagens com destino na zona  $j$ . Os totais de viagens por zona, seja de origem ou de destino, são obtidos por meio do outro tipo de consulta disponível no sistema da API, em que é contabilizada a soma das viagens, filtrada por zona.

A Figura 54 demonstra de forma esquemática como os dados das consultas são disponibilizados, em que é possível visualizar os fluxos válidos (explícitos e superiores a 10 viagens, representados pelos quadrados azuis) e os fluxos indeterminados (ou incertos: implícitos e inferiores a 10 viagens, representados pelos quadrados amarelos), sendo que apenas no caso dos fluxos incertos é necessária a aplicação do método Fratar para a estimativa das quantidades.

Figura 54 – Esquema dos dados de telefonia providos



Fonte: Elaboração LOGIT

Deste modo, para a obtenção da matriz completa são necessárias informações complementares (condições de contorno), as quais, conforme esquema apresentado, podem ser descritas como:

- $A$ : soma do total de viagens;
- $B$ : matriz de viagens (composta de fluxos válidos, indeterminados e nulos);
- $A_{O_i}$ : soma do total de viagens da zona de origem  $i$ ;
- $A_{D_j}$ : soma do total de viagens da zona de destino  $j$ .

O cálculo das viagens para cada par OD é feito da seguinte maneira, a cada iteração  $n$ :

$$V_{i-j,n} = V_{i-j,n-1} + \frac{\frac{\Delta_{O,i}}{N_{O,i}} + \frac{\Delta_{D,j}}{N_{D,j}}}{2} \quad (8)$$

onde:

$V_{i-j,n}$ : Viagens entre origem  $i$  e destino  $j$ , na iteração  $n$

$\Delta_{O,i}$ : Quantidade de viagens faltando para a soma do total de viagens da zona de origem  $i$  ( $A_{O,i}$ );

$\Delta_{D,j}$ : Quantidade de viagens faltando para a soma do total de viagens da zona de destino  $j$  ( $A_{D,j}$ );

$N_{O,i}$ : Quantidade de viagens indeterminadas com origem em  $i$

$N_{D,j}$ : Quantidade de viagens indeterminadas com destino em  $j$

Sendo os critérios de parada os valores de  $\Delta_{O,i}$  e  $\Delta_{D,j}$ , recalculados a cada iteração.

O segundo nível tem como restrição o fato de que a soma do número de viagens entre os pares OD de todas as categorias de uma variável deve coincidir com o total de viagens entre aquele par OD calculado no nível 1. Assim, para o nível 2, primeiramente calcula-se, para cada par OD, o valor  $\Delta_{O_i,D_j}$ , isto é, a diferença entre o número de viagens com origem na zona  $i$  e destino na zona  $j$  (determinado no nível 1) e as viagens já determinadas da variável discretizada em suas categorias. A primeira estimativa ( $V_{i-j,1}$ ) é feita como no primeiro nível – dado que estão disponíveis os vetores  $A_{O_i}$  e  $A_{D_j}$  para cada categoria da variável avaliada. Em seguida, o volume calculado é corrigido para obedecer a restrição:

$$V_{i-j,n} = V_{i-j,n-1} \cdot \frac{\Delta_{O_i,D_j}}{\sum_{categorias} V_{i-j,n-1}} \quad (9)$$

onde:

$V_{i-j,n}$ : Viagens entre origem  $i$  e destino  $j$ , na iteração  $n$ , para cada categoria

O volume é calculado iterativamente usando as equações (8) e (9) até que sejam alcançados os valores de  $A_{O_i}$  e  $A_{D_j}$  com um erro suficiente pequeno.

Por fim, o nível 3 consiste no cruzamento de informações de matrizes do nível 2, permitindo a obtenção do número de viagens por par OD em um cruzamento de categorias de variáveis diferentes, tendo como restrição a soma de cada par OD na matriz de viagens sem distinção de categoria, e nas matrizes de viagens discretizadas por categorias nas duas variáveis cruzadas. Sendo assim, uma primeira estimativa é feita da seguinte maneira:

$$V_{i-j,1} = \frac{\Delta_{O_i1,D_j1} \cdot \Delta_{O_i2,D_j2}}{\Delta_{O_i,D_j}} \quad (10)$$

onde:

$\Delta_{O_i1,D_j1}$ : Diferença o total de viagens entre origem  $i$  e destino  $j$  na variável 1 e as viagens determinadas na matriz cruzada da variável 1 com a variável 2

$\Delta_{O_i2,D_j2}$ : Diferença o total de viagens entre origem  $i$  e destino  $j$  na variável 2 e as viagens determinadas na matriz cruzada da variável 1 com a variável 2

Em seguida, as iterações seguintes calculam as viagens como a média geométrica entre a diferença inicial de cada variável dividida pela soma da iteração atual de cada variável:

$$V_{i-j,n} = V_{i-j,n-1} \cdot MG \left( \frac{\Delta_{O_i1,D_j1}}{\sum_{categoria\ 1} V_{i-j,n-1}}, \frac{\Delta_{O_i2,D_j2}}{\sum_{categoria\ 2} V_{i-j,n-1}} \right) \quad (11)$$

As iterações seguem até que a variação entre uma iteração e a anterior seja mínima.

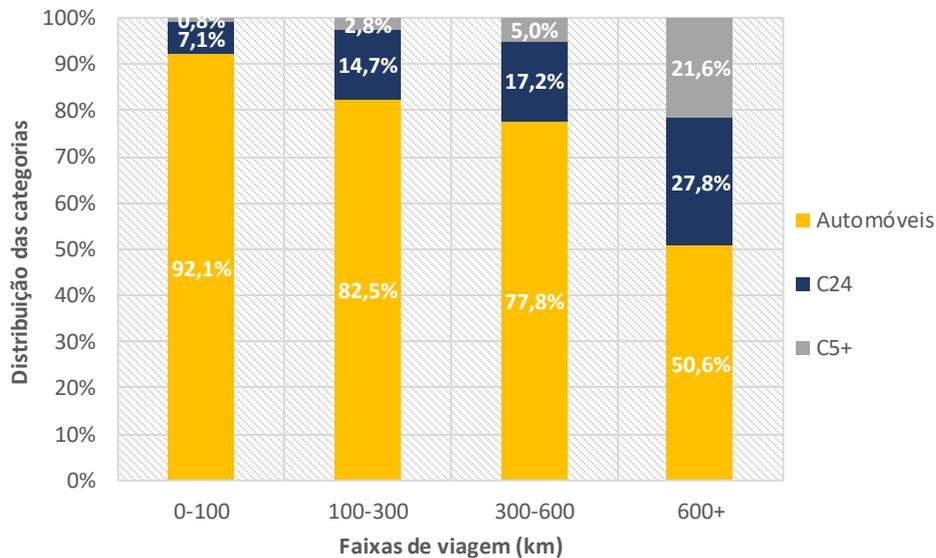
Assim, geram-se as matrizes de interesse para o estudo: matrizes com as categorias de DTD, e matrizes discretizadas por dia da semana-período do dia.

Outro processamento importante aplicado aos dados de telefonia é o método de classificação de viagens em categorias veiculares utilizadas na macrossimulação de tráfego (i.e., Automóveis, Caminhões Leves e Caminhões Pesados). Para isso, é utilizado o parâmetro DTD, que corresponde à distância média viajada por dia pelos usuários captados pela telefonia. Como premissa, assume-se que esse parâmetro é maior conforme a seguinte ordem de categorias veiculares: Automóvel > Caminhões leves (2-4 eixos; “C24”) > Caminhões pesados (5+ eixos; “C5+”).

O método de classificação das matrizes consiste em obter uma distribuição referencial de categorias veiculares para diferentes faixas de distância de viagem. Neste estudo, utilizou-se como referência o conjunto de viagens das matrizes diárias dos pedágios (P-01 para a RMSP e P-08 para a RMBH), compatíveis com as viagens amostradas na matriz de telefonia, para fins de calibração do método. Com base neste conjunto, obtiveram-se as distribuições referenciais de categorias veiculares apresentada na Figura 55 e Figura 56. É possível notar como viagens mais longas possuem menor participação de automóveis e maior participação de caminhões, e vice-versa.

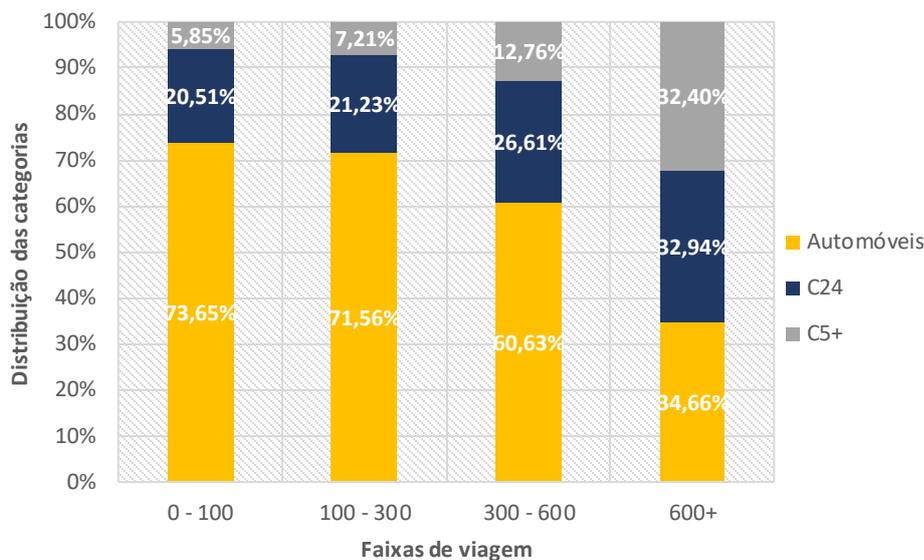
Foram estabelecidos, então, intervalos de DTD para cada categoria veicular que reproduzissem distribuições similares na matriz de telefonia às distribuições referenciais obtidas. Esses intervalos estão descritos na Tabela 27 e Tabela 28, e as distribuições resultantes podem ser conferidas na Figura 57 e Figura 58.

**Figura 55 – Distribuição de categorias por faixas de distância de viagem na RMSP (submatriz referencial diária da praça P-01 da Arteris)**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 56 – Distribuição de categorias por faixas de distância de viagem na RMBH (submatriz referencial diária da praça P-08 da Arteris)**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 27 – Intervalos de DTD calibrados para a classificação das matrizes de telefonia na RMSP**

Faixa (km)	0-100			100-300			300-600			600+		
	Auto	C24	C5M	Auto	C24	C5M	Auto	C24	C5M	Auto	C24	C5M
0 a 20km	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%
20 a 50km	75%	25%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%
50 a 100km	0%	100%	0%	31%	69%	0%	59%	41%	0%	43%	57%	0%
100 a 150km	0%	58%	42%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	76%	24%
150 a 200km	0%	0%	100%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	100%
200 a 250km	0%	0%	100%	0%	48%	52%	0%	23%	77%	0%	0%	100%
250 a 300km	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
300 a 400km	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
400 a 500km	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
500 a 600km	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
600 a 800km	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
800 a 1000km	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
1.000km +	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%

Fonte: Elaboração LOGIT

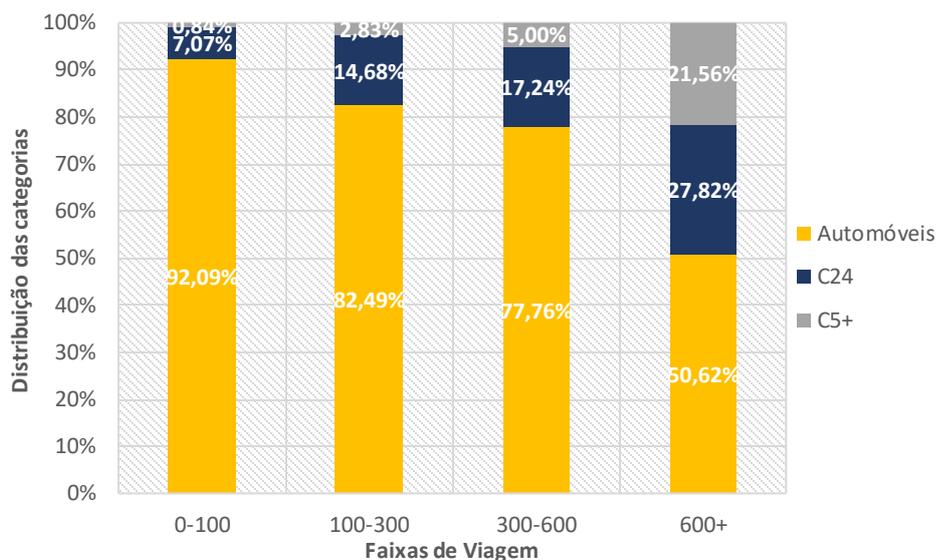
**Tabela 28 – Intervalos de DTD calibrados para a classificação das matrizes de telefonia na RMBH**

Faixa	0-100			100-300			300-600			600+		
	Auto	C24	C5+	Auto	C24	C5+	Auto	C24	C5+	Auto	C24	C5+
0 a 20km	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%
20 a 50km	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	93%	7%	0%
50 a 100km	100%	0%	0%	77%	23%	0%	91%	9%	0%	0%	100%	0%
100 a 150km	4%	96%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	32%	68%
150 a 200km	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	100%
200 a 250km	0%	100%	0%	0%	96%	4%	0%	97%	3%	0%	0%	100%
250 a 300km	0%	100%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
300 a 400km	0%	100%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%

Faixa	0-100			100-300			300-600			600+		
	Auto	C24	C5+	Auto	C24	C5+	Auto	C24	C5+	Auto	C24	C5+
400 a 500km	0%	67%	33%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
500 a 600km	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
600 a 800km	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
800 a 1000km	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
1.000km +	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%

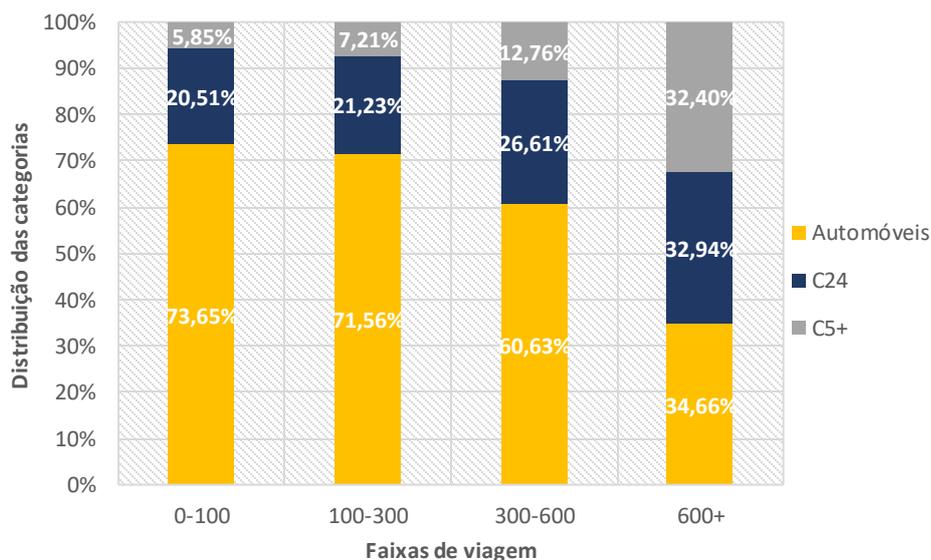
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 57 – Distribuição de categorias por faixas de distância de viagem na RMSP (matriz de telefonia)**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 58 – Distribuição de categorias por faixas de distância de viagem na RMBH (matriz de telefonia)**

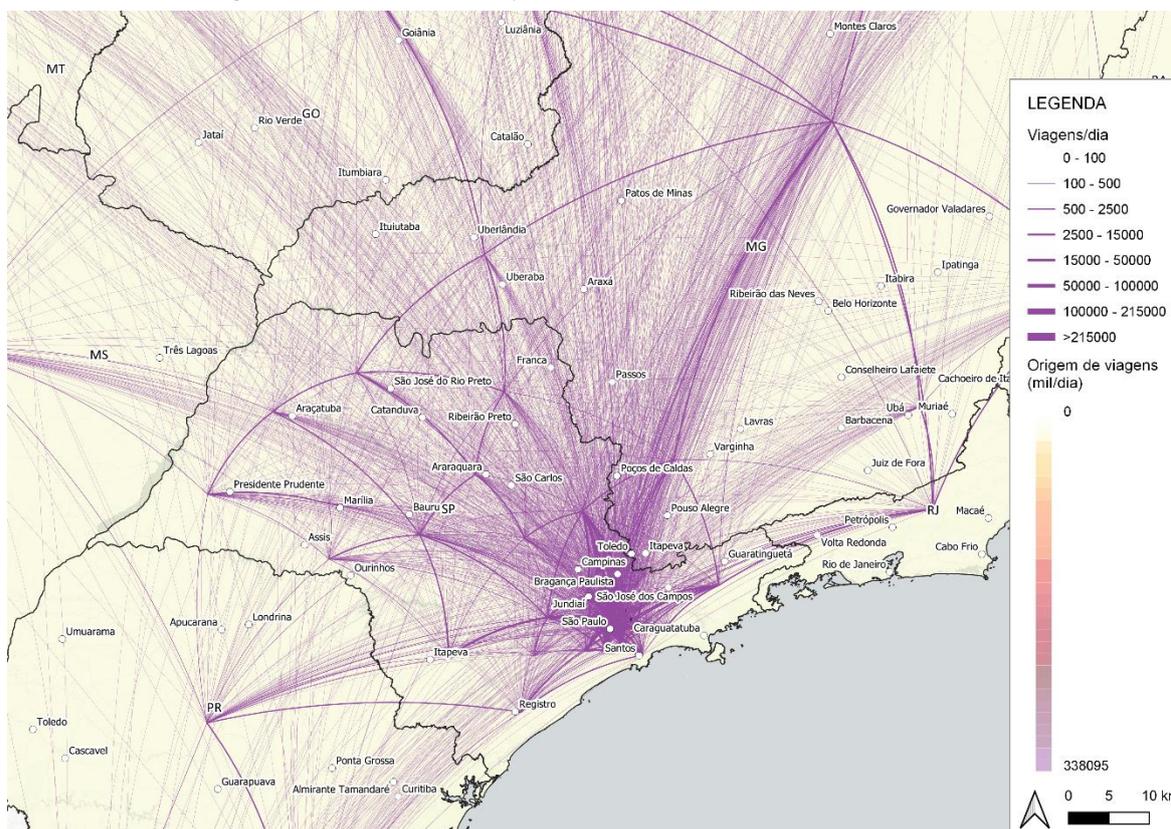


Fonte: Elaboração LOGIT

Como se observa, devido ao uso da divisão de viagens entre as categorias dentro de uma mesma DTD, foi possível um ajuste exato para a classificação das matrizes de telefonia.

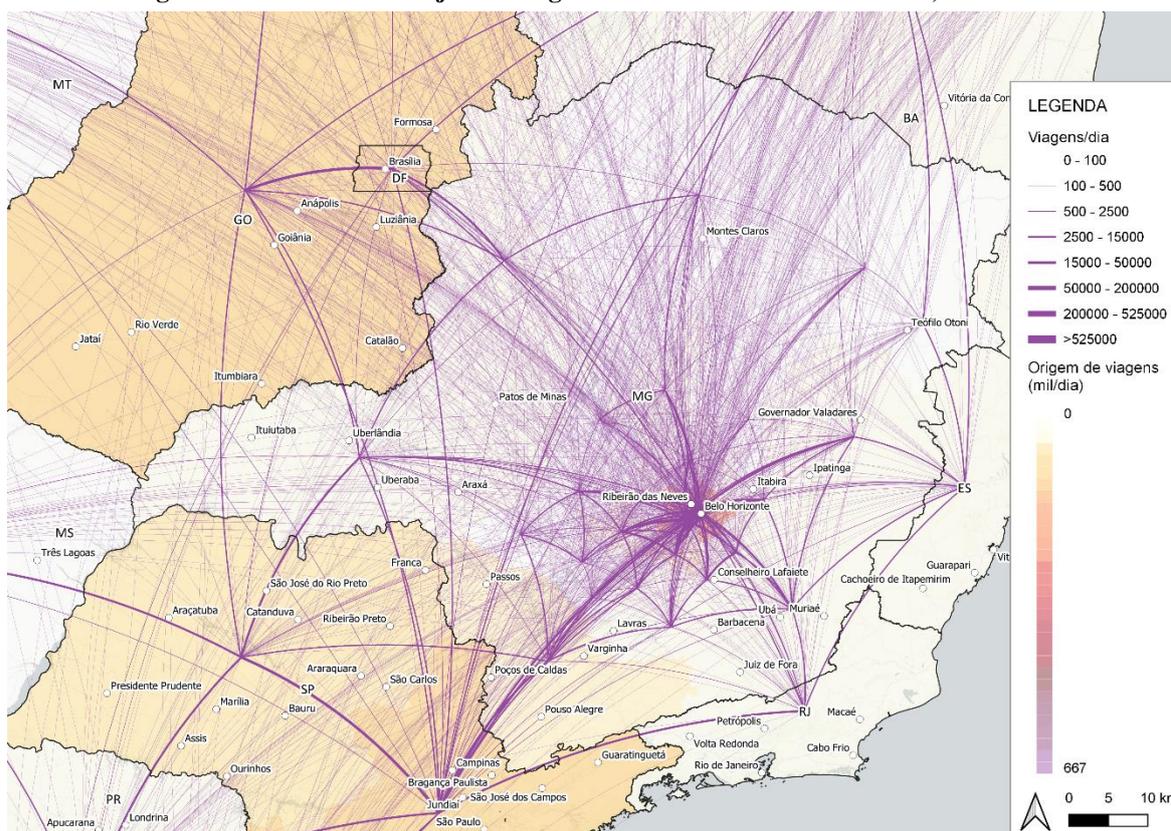
A distribuição das categorias veiculares por faixas de distância foi aplicada às matrizes discriminadas por dia da semana e período do dia, permitindo assim a obtenção de matrizes nos períodos-pico dos dias úteis. A Figura 59 e a Figura 60 apresentam as linhas de desejo da matriz de telefonia diária de automóveis, caminhões de 2 a 4 eixos e caminhões de 5 ou mais eixos, sendo possível observar a grande abrangência espacial deste método, capaz de captar bem as viagens mais curtas.

**Figura 59 – Linhas de desejo da matriz diária de telefonia, na RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 60 – Linhas de desejo das viagens da matriz diária de telefonia, na RMBH**



Fonte: Elaboração LOGIT

#### 4.3.5 Matrizes Resultantes

Para unificar as informações das matrizes coletadas, é necessário entender as informações nelas representadas: a matriz telefonia reúne um maior número de informações, uma vez que ela dispõe de informações tanto de viagens internas à região metropolitana (RM) quanto viagens externas, além de conter viagens de veículos de passeio e comerciais; já a matriz domiciliar considera apenas os deslocamentos de veículos de passeio realizados dentro da RM, visto que ela tende a identificar as viagens feitas no cotidiano dos indivíduos residentes; a matriz de cargas também considera deslocamentos dentro da RM, porém apenas dos veículos comerciais; e, por fim, as matrizes interceptadas oferecem informações quanto as viagens externas a região metropolitana, de veículos de passeio e comerciais.

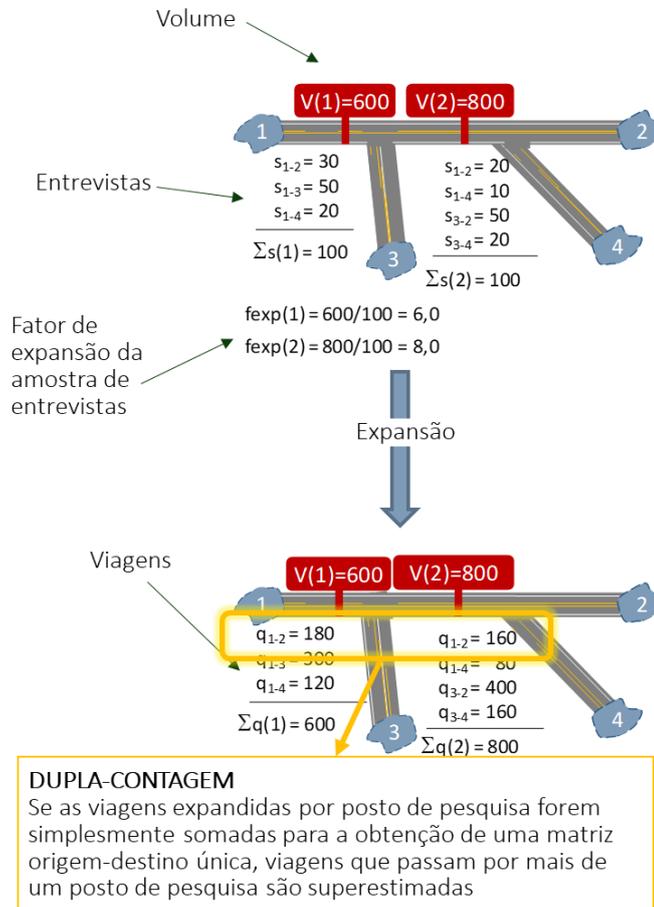
Figura 61 – Conjuntos de viagens representados em cada Matriz OD



Fonte: Elaboração LOGIT

Assim, primeiramente foi necessário gerar uma matriz semente composta pelas matrizes dos itens 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3, internas e externas à RM, complementares. Para isso, foi necessário um cuidado de retirar-se das matrizes internas as viagens que passam em postos de pesquisas interceptadas, bem como de unificar as matrizes interceptadas dos diversos postos de coleta, dado que o procedimento de elaboração de uma matriz origem-destino com base em amostras coletadas em postos de pesquisa permite a ocorrência de possíveis duplas-contagens (viagens que atravessam mais de um posto de pesquisa sendo expandidas mais de uma vez e podendo ser superestimadas), problema ilustrado na Figura 62.

Figura 62 – Ilustração da ocorrência de dupla-contagem na elaboração de matrizes OD com base em pesquisas interceptadas



Fonte: Elaboração LOGIT

Para a elaboração da matriz origem-destino semente de pesquisas interceptadas do estudo, utilizou-se um procedimento que consiste em um método dos mínimos quadrados em que a função objetivo é minimizar a diferença entre o fluxo real e o calculado de um par OD ponderando a quantidade de viagens do par OD obtida em cada posto de pesquisa pela probabilidade de uma viagem desse par OD calculado passar pelos respectivos postos, conforme a seguinte função objetivo:

$$L = \sum_a (P_{ij}^a \times (T_{ij} - \frac{t_{ij}^a}{P_{ij}^a \times r_a})^2) \rightarrow Min$$

que resulta em:

$$\hat{T}_{ij} = \sum_a (t_{ij}^a / r_a) / \sum_a P_{ij}^a$$

em que:

$T_{ij}$ : Fluxo real de viagens entre  $i-j$ ;

$\hat{T}_{ij}$ : Fluxo calculado de viagens entre  $i-j$ ;

$t_{ij}^a$ : Entrevistas entre  $i-j$  captadas no posto de pesquisa  $a$ ;

$r_a$ : Taxa de amostragem do posto de pesquisa  $a$  (inverso do fator de expansão);

$P_{ij}^a$ : Probabilidade de uma viagem entre  $i-j$  passar pelo posto de pesquisa  $a$ .

As probabilidades de as viagens captadas nas pesquisas passarem por cada posto de pesquisa OD são calculadas com um modelo de alocação, tendo sido utilizado o modelo *Equilibrium Assignment* disponível no *PTV Visum*.

Com a união das três matrizes mencionadas (domiciliar, cargas e interceptadas), parte-se para o tratamento das matrizes de telefonia. Inicialmente, transformam-se as matrizes mensais e por período-pico em diárias e por hora-pico, aplicando-se os fatores necessários. Em seguida, faz-se a junção das matrizes de telefonia à união das demais três matrizes. Esse processo é feito a partir de uma média ponderada de ambas, com base em uma alocação inicial que auxilia na definição do peso de cada uma, de acordo com sua adequação aos dados de CVC. Essa análise resultou nos pesos definidos na Tabela 29:

**Tabela 29 – Pesos das matrizes para geração da matriz-semente**

Região	Categoria	Peso	
		Telefonia	Domiciliar+Cargas+Interceptadas
RMSP	Automóveis	1	1
	C24	1	2
	C5M	1	3
RMBH	Automóveis	1	1
	C24	1	3

Região	Categoria	Telefonia	Peso
	C5M	1	Domiciliar+Cargas+Interceptadas 5

Fonte: Elaboração LOGIT

Obtidas as matrizes sementes, realiza-se a segmentação de demanda, de acordo com o capítulo 4.3.6, obtendo-se doze matrizes para cada hora-pico (manhã e tarde, HPM e HPT, respectivamente).

Após obtenção dessas matrizes origem-destino sementes por segmento de demanda, parte-se para a calibração do modelo, em que se ajusta a matriz de viagens de cada um dos segmentos de demanda de forma que os fluxos alocados na rede simulação estejam coerentes com os volumes observados pelos dados de CVC. A comparação com os volumes observados, todavia, é feita em três grandes agregações: automóveis, caminhões de 2 a 4 eixos e caminhões de 5 ou mais eixos.

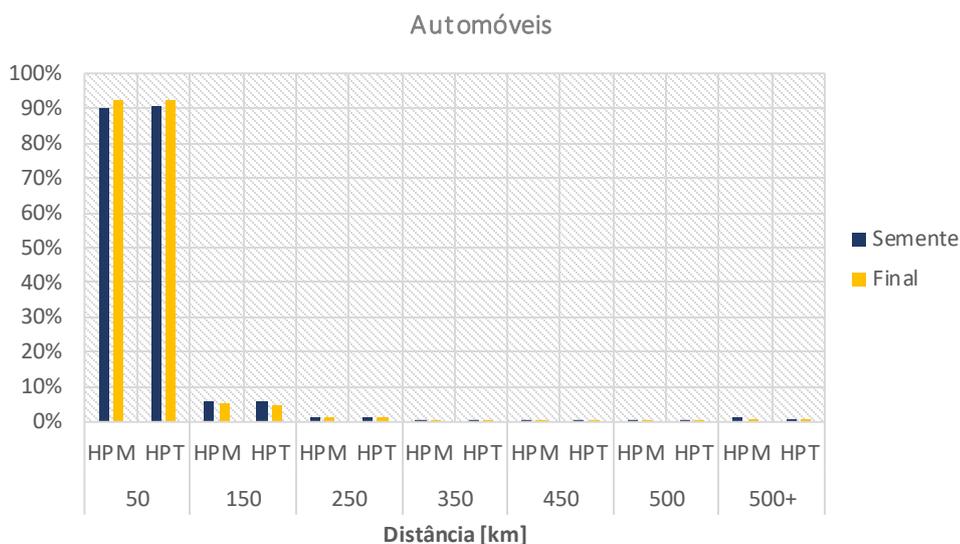
A calibração e validação do modelo de tráfego é realizada para demonstrar o quão bem o modelo é capaz de refletir as condições de tráfego e demanda existentes no ano base, e, portanto, é suficientemente adequado para estimar as variações no tráfego decorrentes de alterações nos cenários de oferta futuros.

Especificamente, a metodologia de calibração do modelo de macrossimulação consiste em um processo iterativo e intensivo de: alocação à rede das matrizes origem-destino dos segmentos de demanda; verificação das rotas geradas; e realização de ajustes necessários no modelo de tráfego (rede, demanda, modelo de escolha etc.), visando obter comportamentos consistentes na escolha de rotas. Critérios de validação são utilizados para garantir que o modelo está apto para seu propósito (*fit for purpose*) e é capaz de representar adequadamente a situação de tráfego existente.

Durante a calibração do modelo de tráfego, como mais uma etapa visando aprimorar a consistência dos resultados, faz-se necessário um ajuste fino das matrizes sementes de viagens do ano base, uma vez que elas possuem ruídos inerentes aos seus processos de obtenção. Esse ajuste é realizado através do procedimento *TFlowFuzzy* do *PTV Visum*, que consiste em uma rotina automática que corrige as matrizes segundo valores-meta imputados pelo consultor.

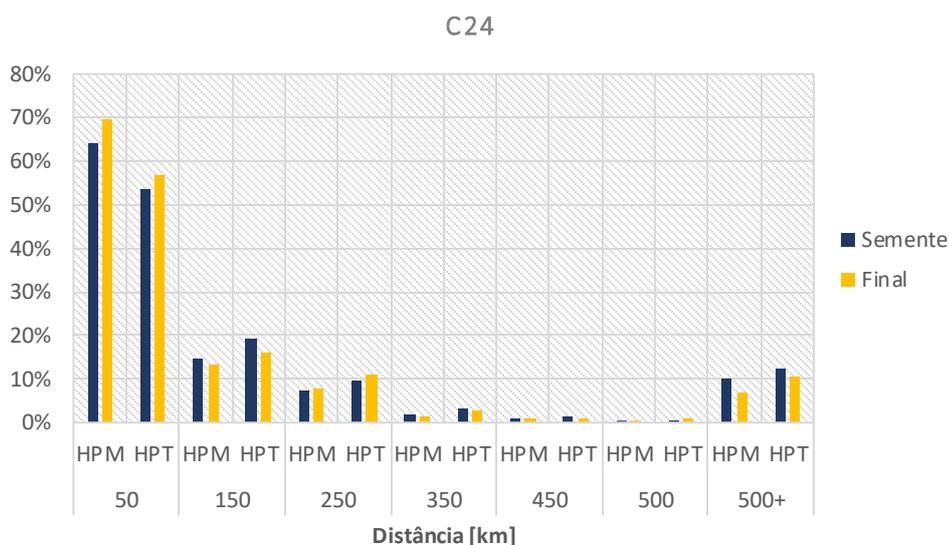
Por tratar-se de um ajuste fino, após a realização do procedimento, compara-se o histograma de viagens, a denominada *Trip Length Distribution* (TLD), das matrizes sementes e das matrizes finais para garantir que não houve distorções significativas na estrutura das matrizes. As figuras a seguir apresentam os resultados dessa comparação para as matrizes das categorias veiculares agregadas do estudo, sem distorções relevantes em relação às distribuições originais.

**Figura 63 – Comparação da TLD das matrizes Semente e Final, Automóveis na RMSP**



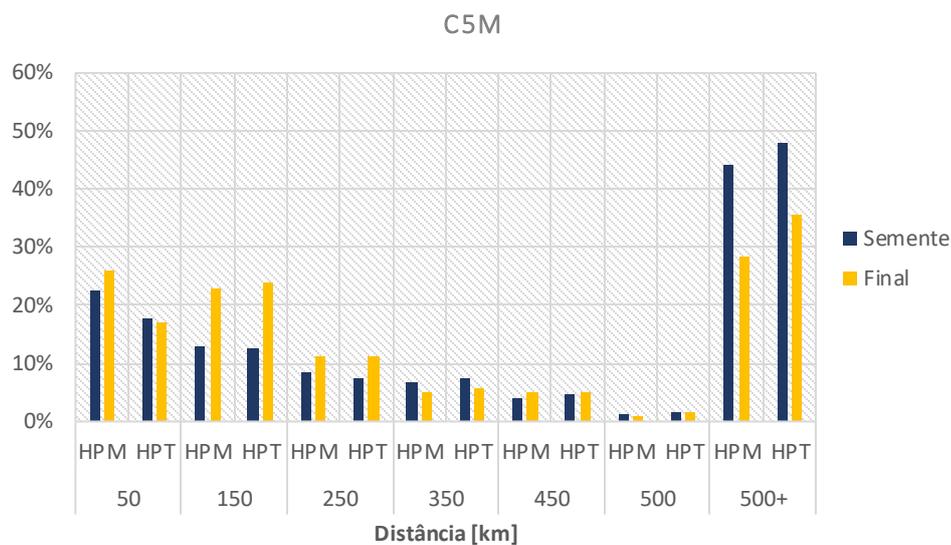
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 64 – Comparação da TLD das matrizes Semente e Final, Caminhões de 2 a 4 eixos na RMSP**



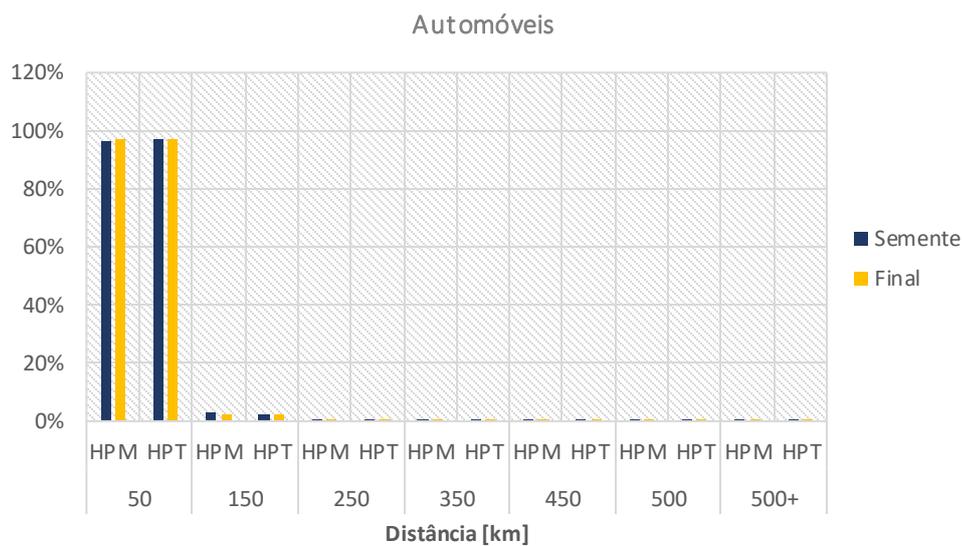
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 65 – Comparação da TLD das matrizes Semente e Final, Caminhões de 5 ou mais eixos na RMSP**



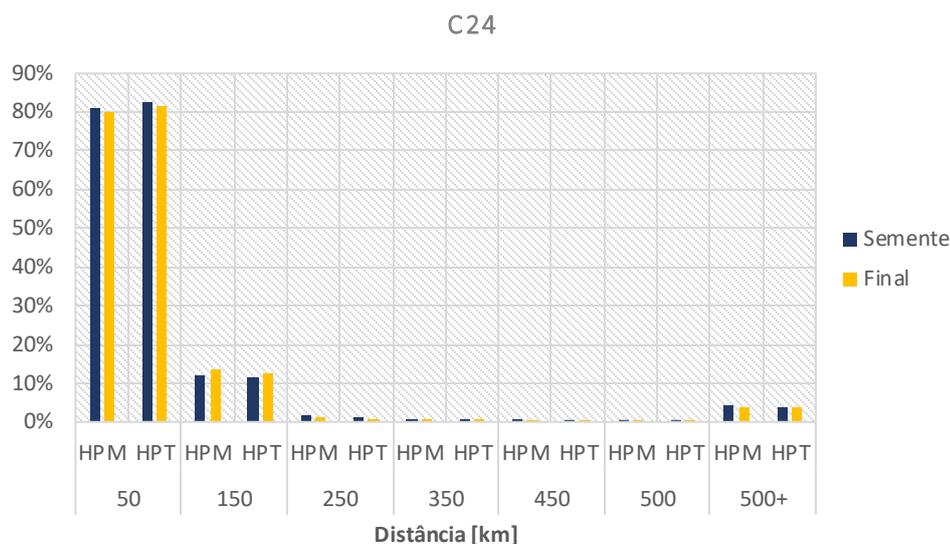
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 66 – Comparação da TLD das matrizes Semente e Final, Automóveis na RMBH**



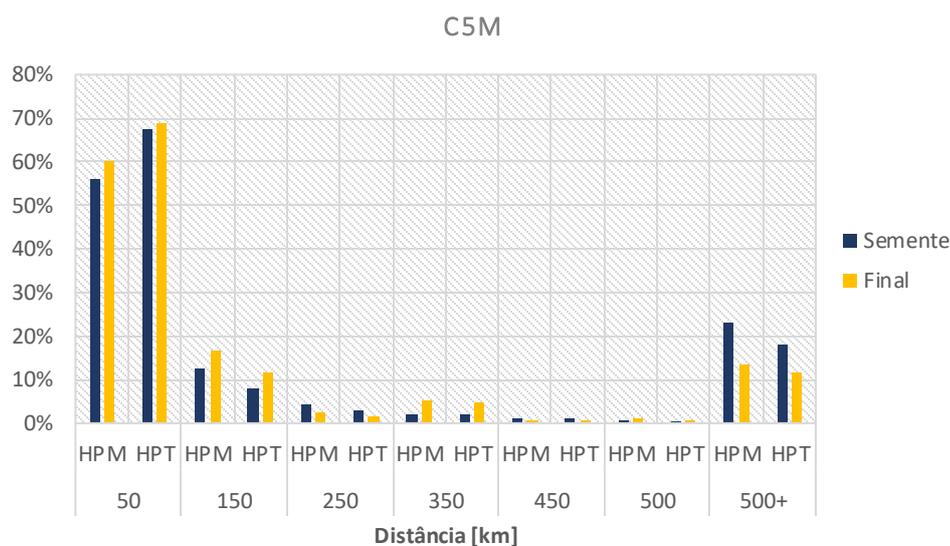
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 67 – Comparação da TLD das matrizes Semente e Final, Caminhões de 2 a 4 eixos na RMBH**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 68 – Comparação da TLD das matrizes Semente e Final, Caminhões de 5 ou mais eixos na RMBH**



Fonte: Elaboração LOGIT

Outra importante etapa na calibração do modelo é a de comparar os dados gerados pelo modelo com os dados observados na pesquisa de contagem. Na engenharia de tráfego, uma métrica desenhada para esse propósito consiste no “GEH”, que indica se o volume de tráfego modelado está devidamente aderente ao volume de tráfego observado na realidade. Um GEH menor que 5 indica um ótimo ajuste e um GEH maior que 10 indica provável inconsistência com o modelo ou com os dados coletados.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

*M*: Volume Horário de Tráfego do modelo;  
*C*: Volume Horário de Tráfego observado.

Preliminarmente, estabelece-se como critério de validação do modelo o proposto por ORTUZAR e WILLUMSEN (2011), em *Transport Modelling*, que exige ao menos 60% dos pontos com GEH abaixo de 5, postulando que postos de contagem com GEH superior a 10 tenham elevada probabilidade de indicar problemas nos dados e parâmetros inseridos no modelo.

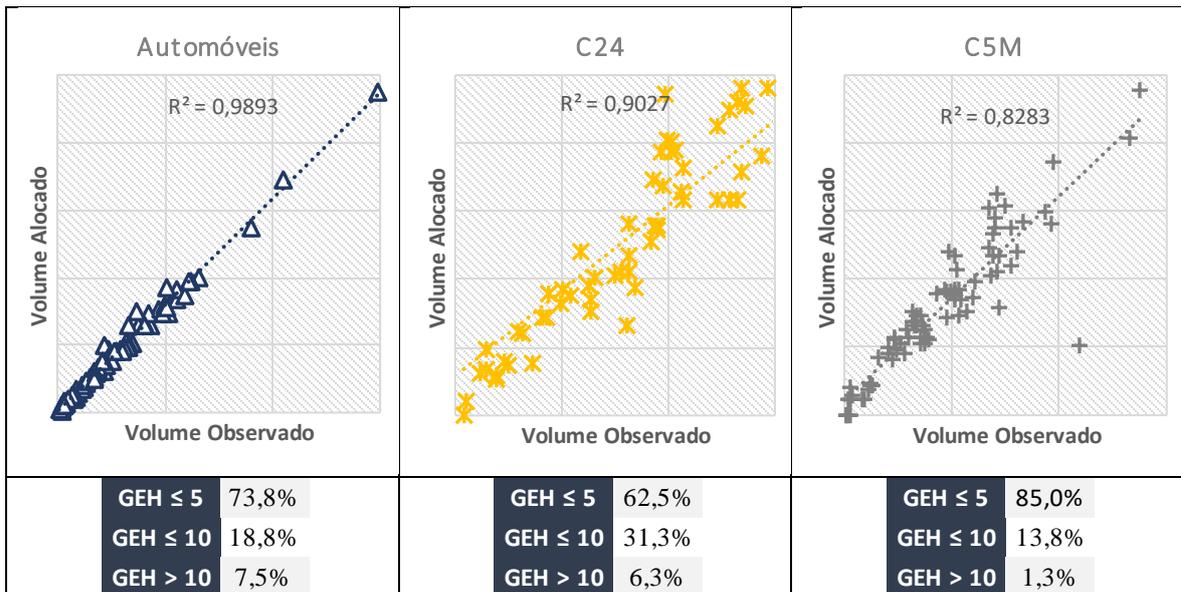
Para fins de modelagem e simplificação da rede viária de simulação, a malha desenhada possui detalhamento proporcional à resolução do zoneamento, isto é, quanto menor a zona de tráfego, maior o detalhamento das vias e, portanto, maior a reticularidade da malha. Por outro lado, quanto maior a zona, menor o detalhamento viário e, conseqüentemente, menor o “espalhamento” dos volumes alocados. Tal característica inerente a modelos de simulação faz com que se permita que alguns pontos de controle possam tolerar GEH maiores se, e somente se, o volume alocado for superior ao volume observado, uma vez que indicaria que há demanda latente que estaria “escapando” por vias paralelas e locais.

Os gráficos a seguir compilam a análise estatística de aderência dos fluxos modelados com os fluxos observados na pesquisa de CVC para HPM e HPT. Valores de  $R^2$  próximos de 1 indicam maior aderência do modelo e apoiam a métrica do indicador GEH, agregadas as posições de pontos de contagem de pistas de um mesmo sentido (pista marginal e pista central/expressa).

A análise conjunta de pontos de contagem em pistas adjacentes foi empregada em contextos nos quais o modelo de tráfego estimava volumes de tráfego totais de forma adequada, porém com distribuições entre pistas distintas das observadas. Este método foi empregado uma vez que a distribuição do tráfego entre pistas adjacentes, principalmente em condições de congestionamento, é naturalmente volátil no dia a dia, sendo o interesse fundamental do modelo estimar os padrões de viagem de forma macroscópica e mais agregada.

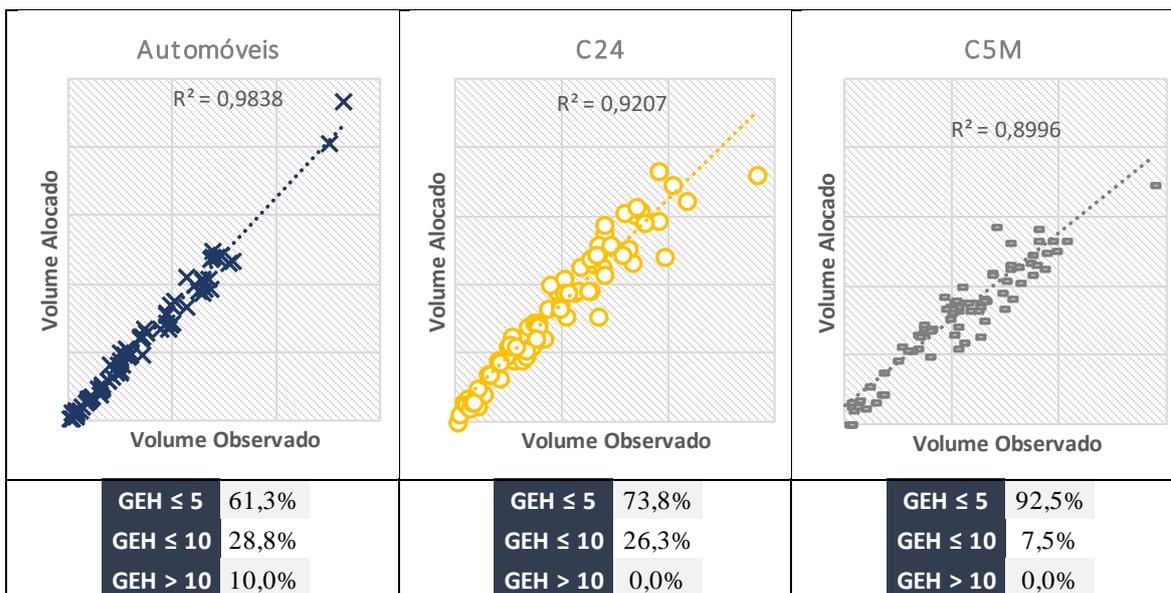
Ademais, quando tal fenômeno é observado de forma isolada, em vez de de forma sistêmica, considera-se que a distribuição entre pistas é potencialmente influenciada por questões locais, microscópicas e ocasionais, não afetando a caracterização dos padrões de viagem e de uso do sistema viário na área de estudos como um todo.

**Tabela 30 – Aderência dos fluxos modelados em relação aos fluxos observados, por categoria veicular na RMSP (HPM)**



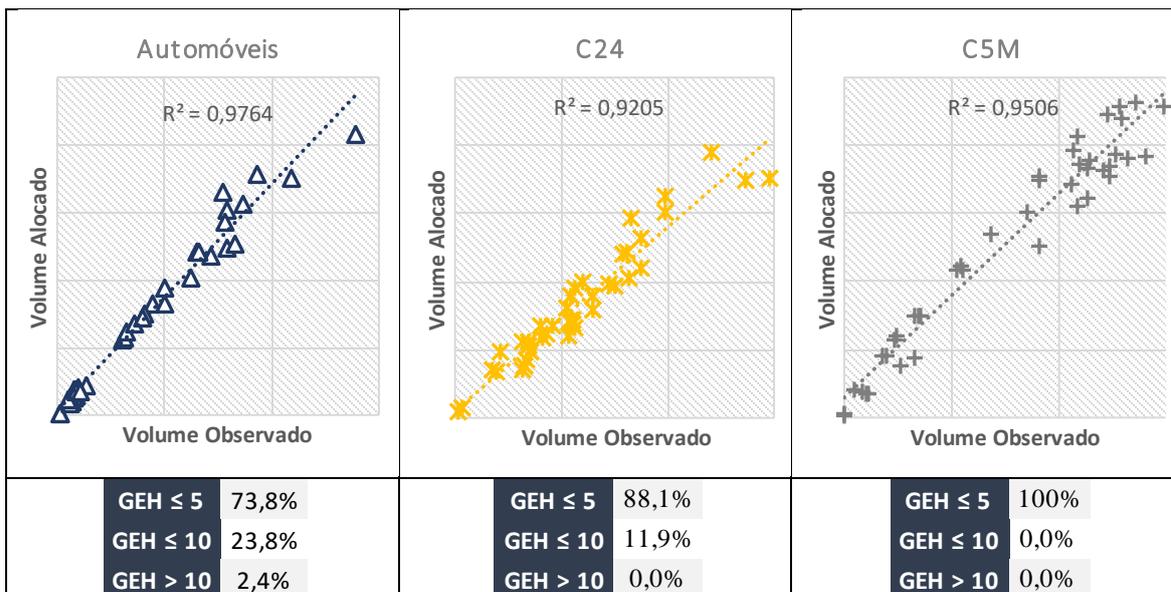
Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 31 – Aderência dos fluxos modelados em relação aos fluxos observados, por categoria veicular na RMSP (HPT)**



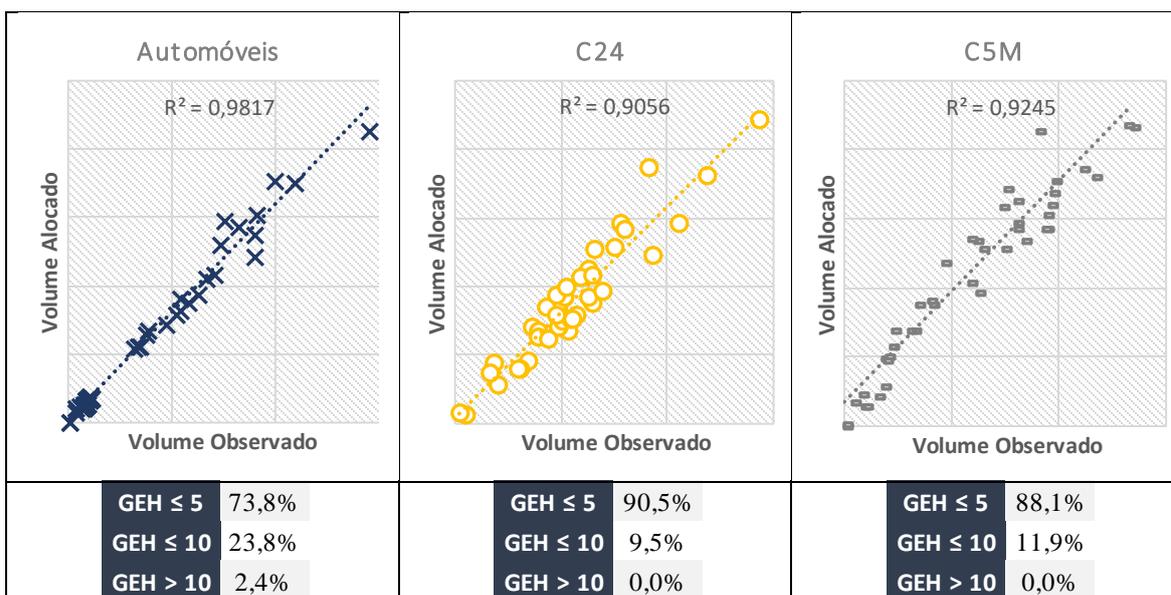
Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 32 – Aderência dos fluxos modelados em relação aos fluxos observados, por categoria veicular na RMBH (HPM)**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 33 – Aderência dos fluxos modelados em relação aos fluxos observados, por categoria veicular na RMBH (HPT)**

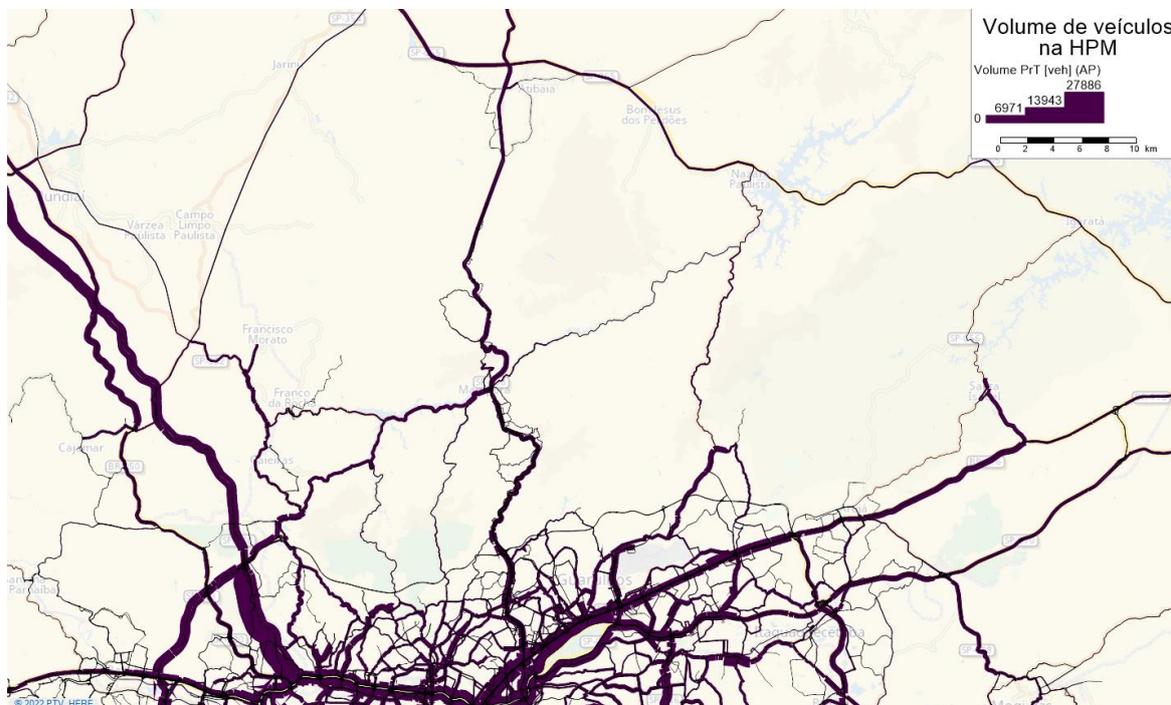


Fonte: Elaboração LOGIT

O detalhamento de todos os índices GEHs obtidos nos pontos de controle de volume na rede pode ser verificado no Apêndice 2.

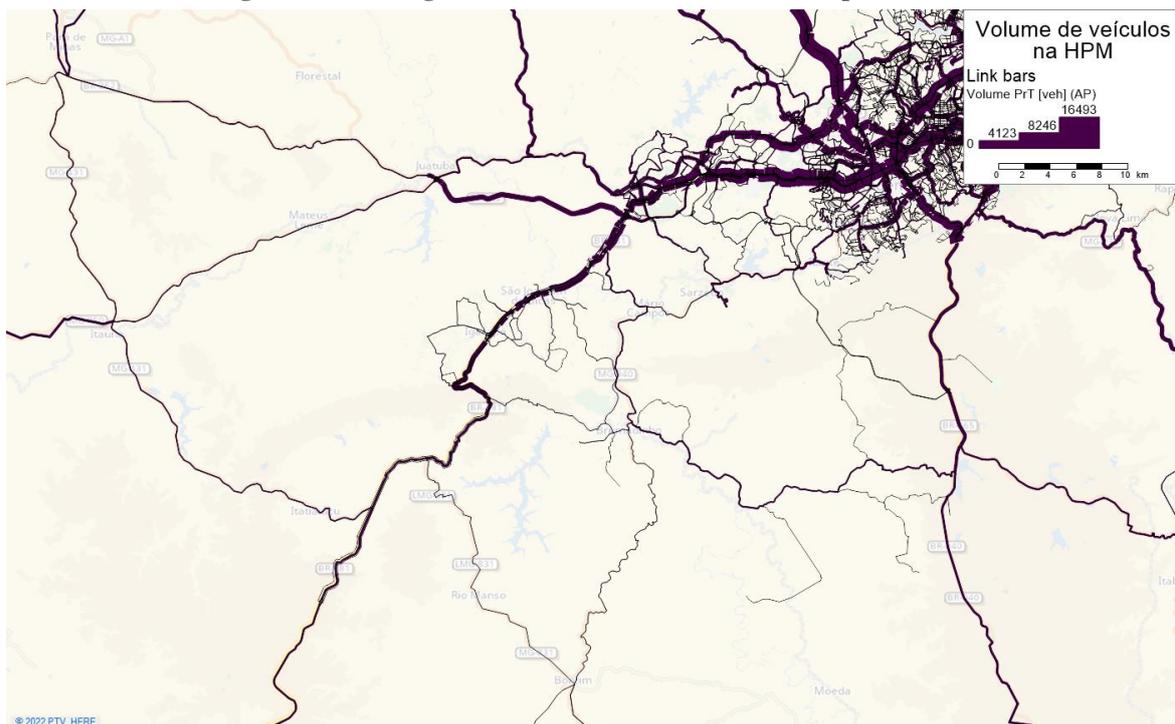
Terminada a calibração do modelo, o carregamento da rede resultou nas seguintes situações atuais, para cada hora-pico e região metropolitana.

**Figura 69 – Carregamento da rede da RMSP na hora-pico manhã**



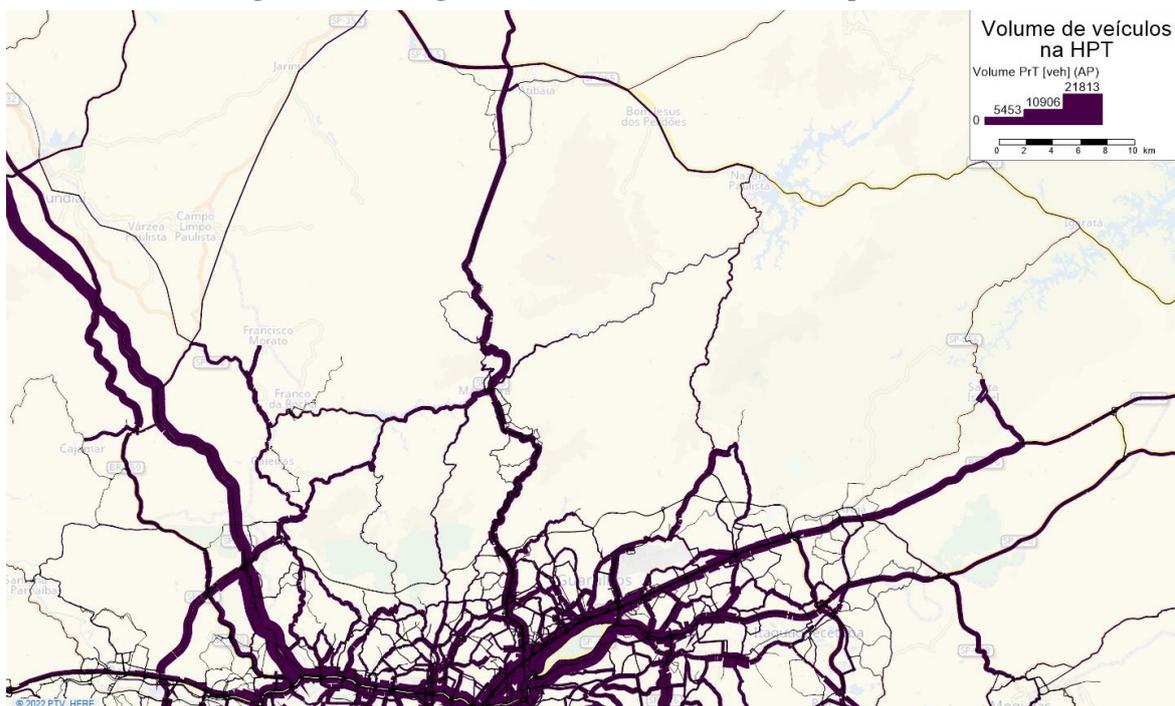
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 70 – Carregamento da rede da RMBH na hora-pico manhã**



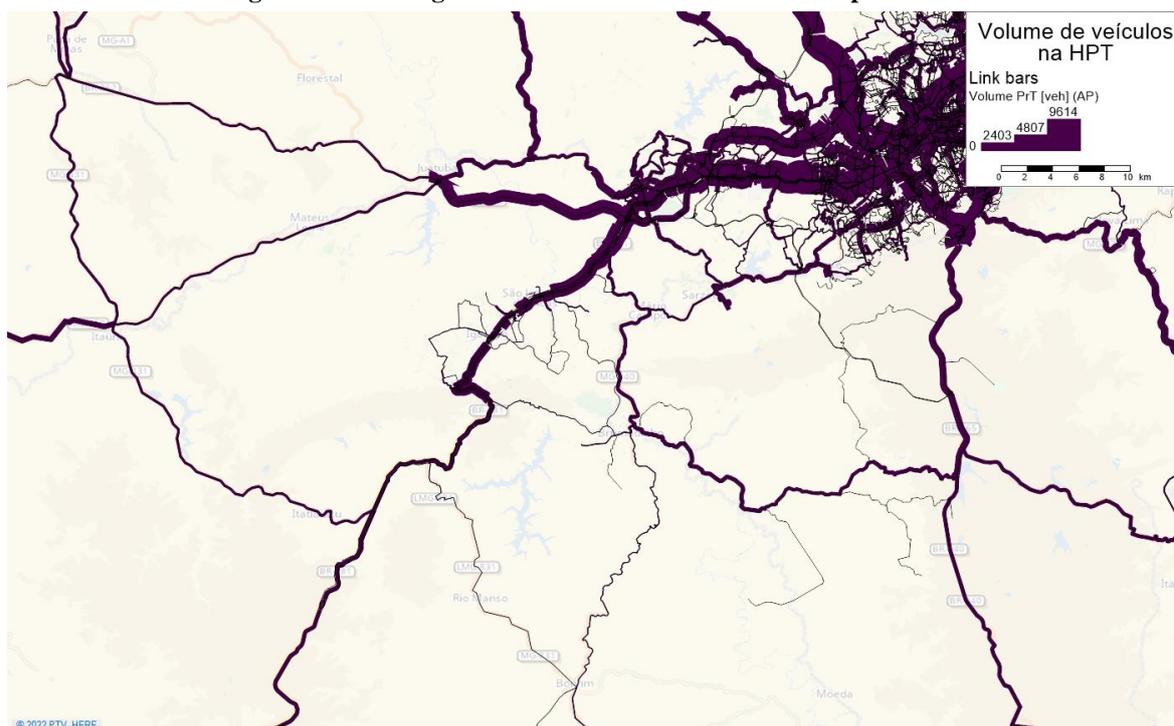
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 71 – Carregamento da rede da RMSP na hora-pico tarde**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 72 – Carregamento da rede da RMBH na hora-pico tarde**



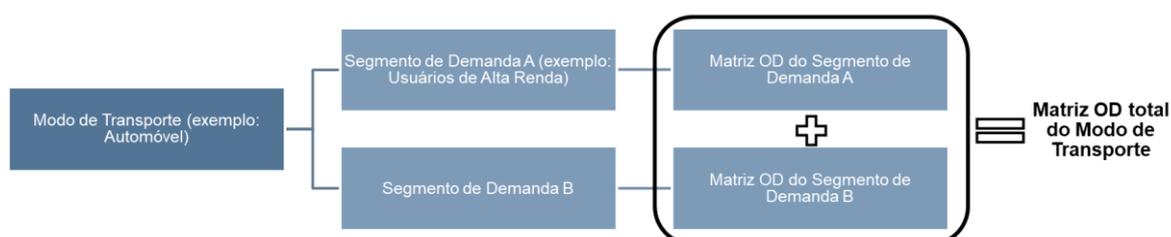
Fonte: Elaboração LOGIT

### 4.3.6 Segmentação de Demanda

Após obtenção das matrizes origem-destino sementes, cada modo de transporte é dividido em diferentes segmentos de demanda (i.e., classes de usuários com características semelhantes). Esta segmentação de demanda visa tornar o modelo mais sensível a premissas a respeito do comportamento dos usuários, como a de que a propensão a fugir da cobrança de pedágios seja inversamente proporcional à renda dos usuários de automóvel.

Assim, é possível modelar cada classe de usuários (segmento de demanda) separadamente, com maior ou menor sensibilidade à cobrança de tarifas de pedágio, de acordo com seu valor do tempo. Cada segmento de demanda possui uma matriz OD, que representa um *share* da matriz OD total do modo de transporte, sendo esse *share* definido a partir de dados da pesquisa OD sobre as características utilizadas para a segmentação da demanda, como a renda dos usuários de automóveis, por exemplo. A Figura 73 ilustra o processo de segmentação da demanda.

**Figura 73 – Processo de segmentação da demanda**

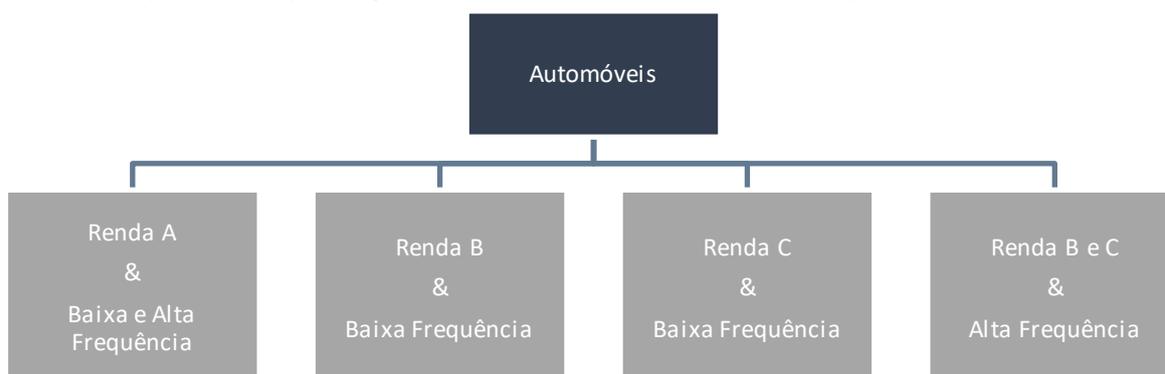


Fonte: Elaboração LOGIT

Nesse estudo, foram adotados no total oito segmentos de demanda, sendo quatro para automóveis (Figura 74), dois para caminhões rígidos e dois para caminhões articulados (Figura 75).

As descrições das características utilizadas no processo de segmentação da demanda encontram-se na Tabela 34.

**Figura 74 – Segmentação da demanda adotada (Modo de Transporte: Automóveis)**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 75 – Segmentação da demanda adotada (Modos de Transporte: Caminhões Rígidos e Caminhões Articulados)**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 34 – Características utilizadas na segmentação da demanda**

Modo de Transporte	Característica	Descrição
Automóveis	Renda A	Valor do veículo $\geq$ R\$ 70.000
Automóveis	Renda B	Valor do veículo $\geq$ R\$ 35.000 e $<$ R\$ 70.000
Automóveis	Renda C	Valor do veículo $<$ R\$ 35.000
Automóveis	Baixa Frequência	Frequência da viagem $\leq$ 52 vezes/ano
Automóveis	Alta Frequência	Frequência da viagem $>$ 52 vezes/ano
Caminhões Rígidos/Caminhões Articulados	Reembolsáveis	Pedágio pago pela embarcadora/transportadora
Caminhões Rígidos/Caminhões Articulados	Não reembolsáveis	Pedágio pago pelo motorista do caminhão

Fonte: Elaboração LOGIT com base em EVTEA da Dutra

O processo de segmentação da demanda é realizado através da aplicação de fatores sobre a demanda total de cada par OD que particionam o volume de viagens do par em segmentos que somam 100%. Esses fatores são calculados com base na distribuição das características utilizadas na segmentação da demanda (Tabela 34) obtida nas pesquisas OD. Ainda, no caso de automóveis, essa distribuição é obtida em função de faixas de distância de viagem, de modo a indexar a aplicação dos fatores a uma variável explicativa que apresenta correlação considerável com as características utilizadas. Por exemplo, nota-se, com base nas pesquisas OD, que as viagens mais longas de automóveis são normalmente realizadas por indivíduos de classes de renda mais altas.

Os fatores utilizados na segmentação de demanda de automóveis são apresentados na Tabela 35, enquanto os de caminhões são apresentados na Tabela 36.

**Tabela 35 – Fatores de segmentação de demanda (Automóveis)**

Código	Classe de Renda	Frequência	Faixa de Distância de Viagem (km)						
			30	50	100	200	300	600	600+
<b>AF</b>	C/B	Alta Frequência	61%	44%	30%	17%	8%	0%	0%
<b>A</b>	A	Baixa/Alta Frequência	27%	36%	40%	44%	41%	46%	44%
<b>B</b>	B	Baixa Frequência	10%	15%	23%	31%	37%	40%	42%
<b>C</b>	C	Baixa Frequência	2%	5%	7%	8%	14%	14%	14%

Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 36 – Fatores de segmentação de demanda (Caminhões)**

Código	Categoria de Caminhões	Fator de Segmentação
<b>C24_R</b>	Rígidos Reembolsáveis	81%
<b>C24_NR</b>	Rígidos Não-Reembolsáveis	19%
<b>C5M_R</b>	Articulados Reembolsáveis	93%
<b>C5M_NR</b>	Articulados Não-Reembolsáveis	7%

Fonte: Elaboração LOGIT

Nos subitens 4.3.6.1 e 4.3.6.2, são descritos os processos de segmentação de cada categoria (automóveis e caminhões), reproduzidos do EVTEA da concessão rodoviária da BR-116/101/SPRJ (Lote iNova Dutra).

#### 4.3.6.1 Automóveis

Para os automóveis, foi elaborada uma segmentação considerando a renda do indivíduo e a frequência em que a viagem é realizada. A renda foi estratificada em três categorias (alta, média e baixa), enquanto a frequência de viagem, em duas categorias (alta e média/baixa).

O limiar entre média/baixa frequência e a alta frequência é de uma viagem por semana. Ao analisar as respostas da pesquisa de preferência declarada no estudo regional, foi verificado que o comportamento (valor do tempo) das pessoas com alta renda era independente da frequência de viagem e que o comportamento das pessoas de renda média e baixa era estatisticamente homogêneo quando havia uma alta frequência de viagem. Desse modo, a segmentação resultante para automóveis contempla 4 estratos, que, conforme Tabela 38, são denominadas de forma simplificada como Renda A (AR), Alta Frequência (AF), Renda B (MR) e Renda C (BR).

**Tabela 37 – Categorias de segmentação de demanda de automóveis**

Frequência de viagem	
Alta	Média e Baixa
Renda A (A)	
Alta frequência (AF)	Renda B (B) Renda C (C)

Fonte: Elaboração LOGIT com base em EVTEA da Dutra

**Tabela 38 – Custos de viagem generalizado (análogo ao valor do tempo) estimados para as categorias de automóveis**

Código	Classe de Renda	Frequência	CVG <sub>PS</sub> (R\$/h)	CVG <sub>PD</sub> (R\$/h)
AF	C/B	Alta Frequência	12,54	15,16
A	A	Baixa/Alta Frequência	47,12	52,75
B	B	Baixa Frequência	34,52	39,03
C	C	Baixa Frequência	28,82	32,98

Fonte: Elaboração LOGIT com base em EVTEA da Dutra

#### 4.3.6.2 Caminhões

Com relação à segmentação dos caminhões, considerou-se o número de eixos do veículo e se o motorista do caminhão era o dono do veículo ou não. Para o número de eixos do veículo, o estudo regional indica que os melhores resultados foram alcançados agregando dois grandes grupos: caminhões de 2 a 4 eixos e caminhões de 5 eixos ou mais. Em relação à propriedade do veículo, se o motorista fosse o dono as tarifas de pedágio seriam não-reembolsáveis, enquanto no caso de os motoristas não serem o dono, as tarifas seriam reembolsáveis pelos donos da empresa. Na Tabela 39, pode-se observar as quatro categorias consideradas para a segmentação dos caminhões.

**Tabela 39 – Categorias de segmentação de demanda de caminhões**

Número de Eixos	Propriedade dos veículos	
	Próprio / Tarifa não reembolsável	Empresa / Tarifa reembolsável
Caminhões de 2 a 4 eixos	C24_NR	C24_R
Caminhões de 5 ou mais eixos	C5M_NR	C5M_R

Fonte: Elaboração LOGIT com base em EVTEA da Dutra

**Tabela 40 – Custos de viagem generalizado (análogo ao valor do tempo) estimados para as categorias de caminhões**

Código	Categoria de Caminhões	CVG <sub>PS</sub> ((R\$/h)/eixo)	CVG <sub>PD</sub> ((R\$/h)/eixo)
C24_R	Rígidos Reembolsáveis	43,30	46,83
C24_NR	Rígidos Não-Reembolsáveis	26,79	30,51
C5M_R	Articulados Reembolsáveis	31,24	41,02
C5M_NR	Articulados Não-Reembolsáveis	19,33	26,73

Fonte: Elaboração LOGIT com base em EVTEA da Dutra

Ainda, por haver áreas de restrição à circulação de caminhões, eles foram segmentados em mais duas categorias, aqueles que circulam na zona com restrição (veículos autorizados) e aqueles que não circulam, por serem multados caso circulem.

## 5 ETAPA 3: AVALIAÇÃO E MENSURAÇÃO DA INIQUIDADE TARIFÁRIA NA RODOVIA FERNÃO DIAS

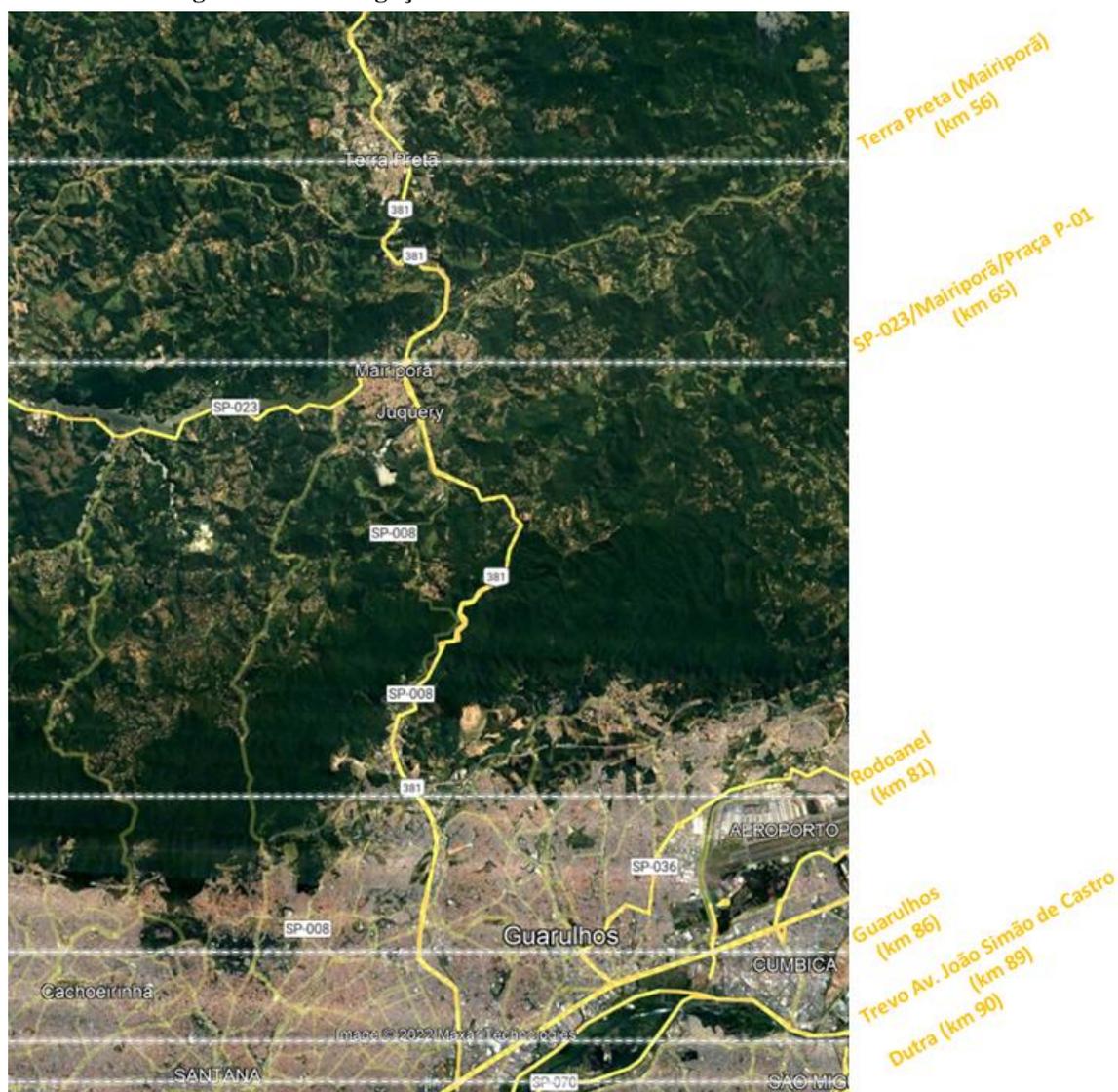
Este capítulo apresenta a infraestrutura existente ao longo do trecho da BR-381 em estudo, atualmente sob concessão da Arteris, e analisa e caracteriza a demanda de usuários da via em estudo.

### 5.1 Infraestrutura Existente

A fim de se propor melhorias no fluxo da Rodovia Fernão Dias no trecho metropolitano de São Paulo e no de Belo Horizonte, é necessário primeiramente entender e mapear a infraestrutura existente para então, em consonância com a análise dos fluxos de demanda atuais, identificar gargalos e diagnosticar a utilização das pistas e acessos.

A Figura 76 e a Figura 77 apresentam os trechos de análise da Fernão Dias, a primeira entre os marcos da Rodovia Pres. Dutra e a praça de pedágio P-01 (Mairiporã), e a segunda entre Belo Horizonte e a praça de pedágio P-08 (Itatiaiuçu), identificando as principais interligações de interesse com a rodovia de estudo.

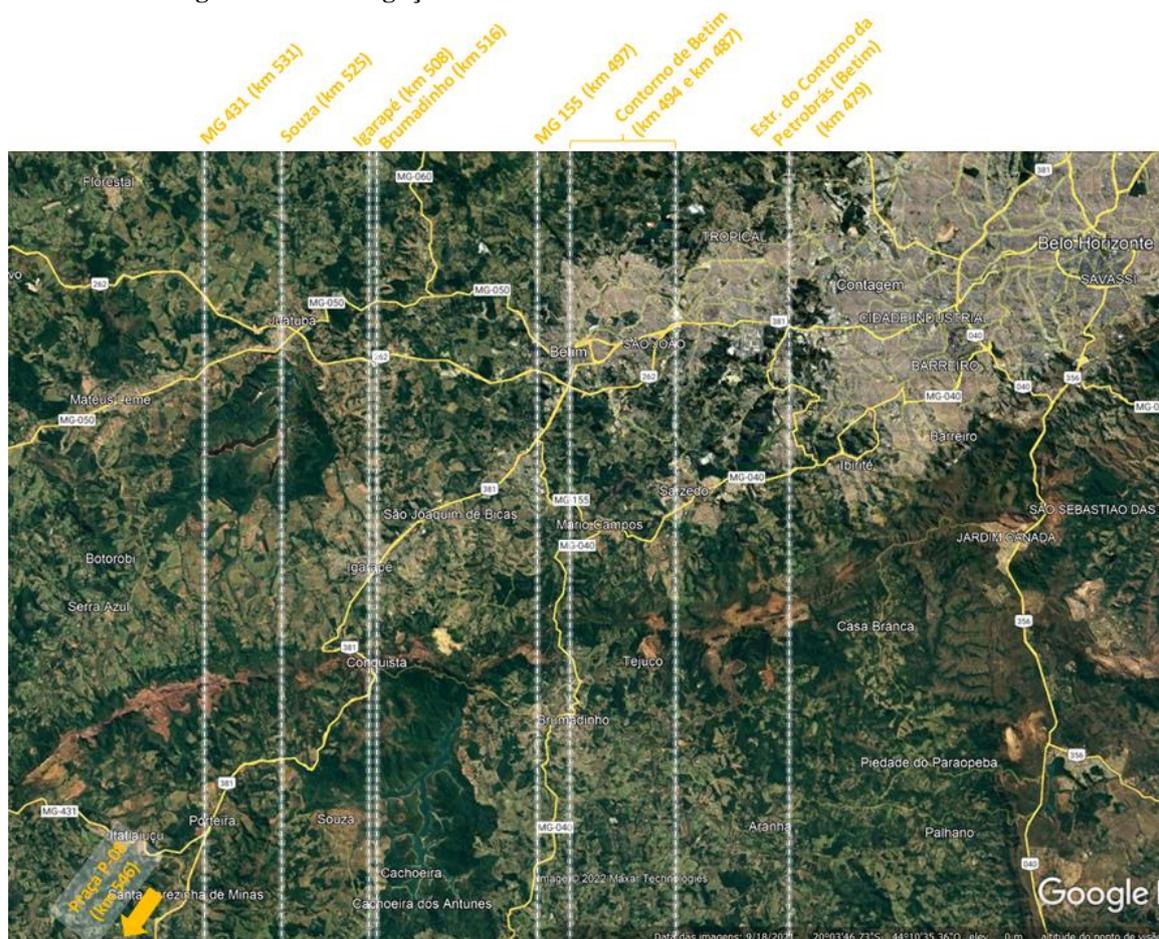
Figura 76 – Interligações de interesse da Rodovia Fernão Dias na RMSP



Fonte: Elaboração LOGIT

Destacam-se, na região metropolitana de São Paulo, a interligação com a Dutra, seguida do trevo que liga à Av. João Simão de Castro, permitindo o acesso a zonas do norte da cidade de São Paulo. Logo após, no sentido norte, o acesso ao município de Guarulhos através da pista marginal da rodovia e no km 81, uma futura interligação com o trecho norte do Rodoanel Mário Covas. Ainda, uma importante conexão com o município de Mairiporã e a SP-023, próximo à praça de pedágio P-01, e por último, neste trecho, o acesso ao distrito de Terra Preta (Mairiporã).

**Figura 77 – Interligações de interesse da Rodovia Fernão Dias na RMBH**

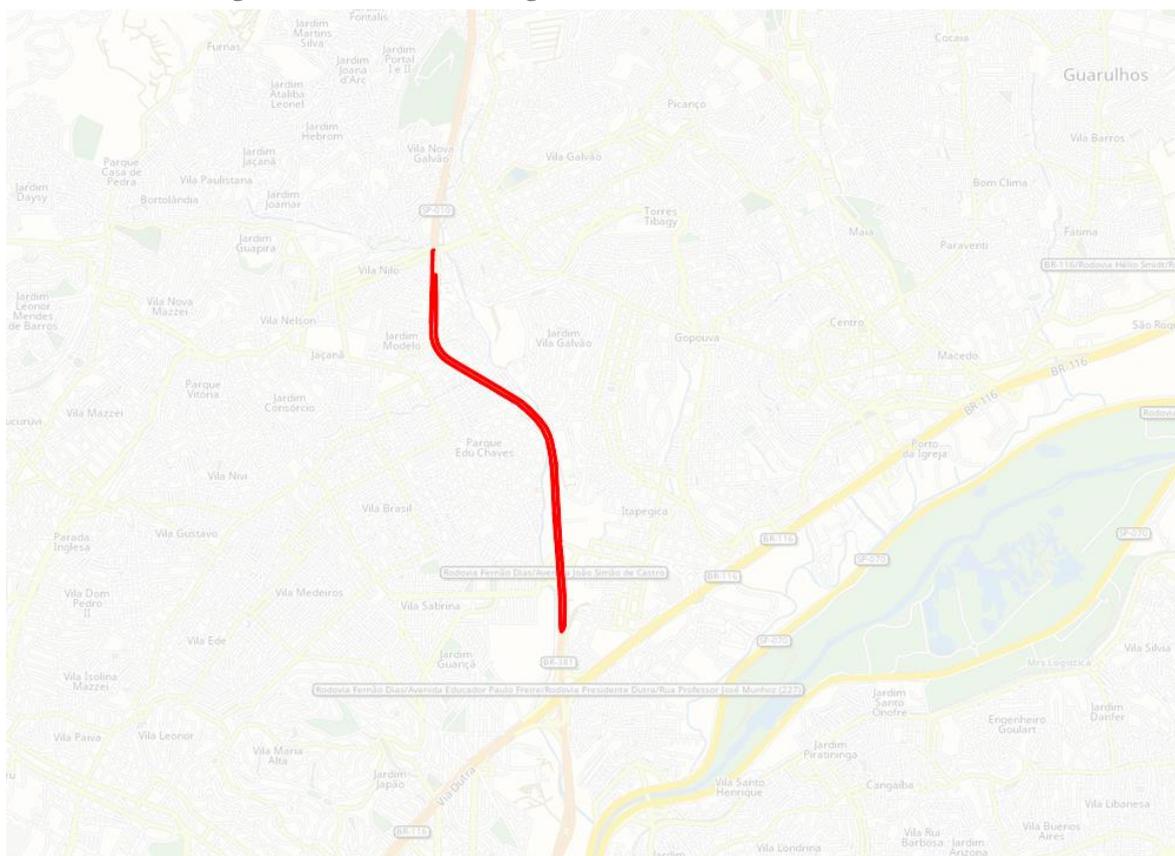


Fonte: Elaboração LOGIT

Na região metropolitana de Belo Horizonte, o destaque é para o acesso à MG-431, próxima à divisa dos municípios de Itatiaiuçu e Rio Manso, bem como da praça de pedágio P-08 da rodovia. Em seguida, mais ao norte, os acessos aos municípios de Souza, depois Brumadinho e Igarapé. Mais à frente, um acesso à rodovia MG-155, e a chegada ao contorno de Betim, via que corre paralela à Fernão Dias. Por fim, um acesso à Av. do Contorno, próximo ao município de Contagem.

Os trechos de marginal são considerados aqueles contínuos cuja característica de tráfego se mantém constante. Para a RMSP e a RMBH, são ilustrados pela Figura 78 e Figura 79, respectivamente.

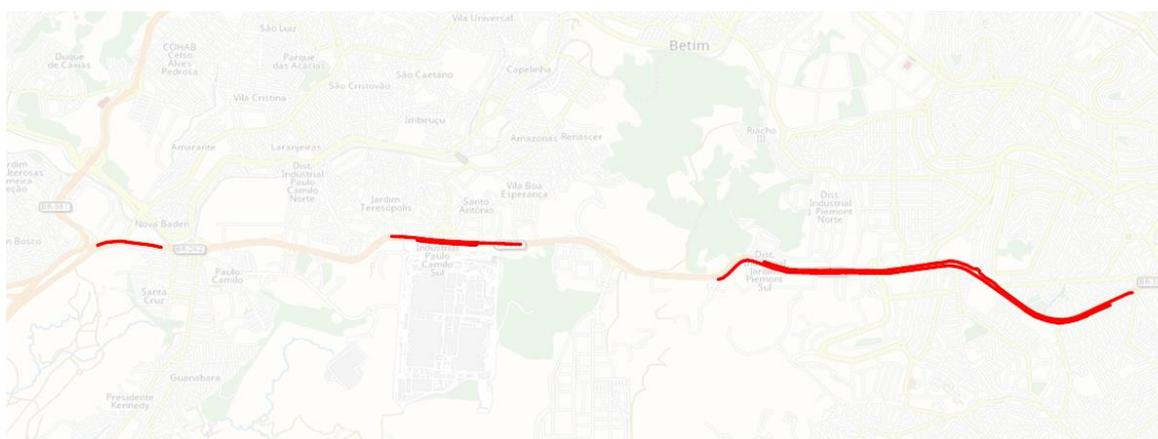
**Figura 78 – Trechos de marginal existente na Fernão Dias na RMSP**



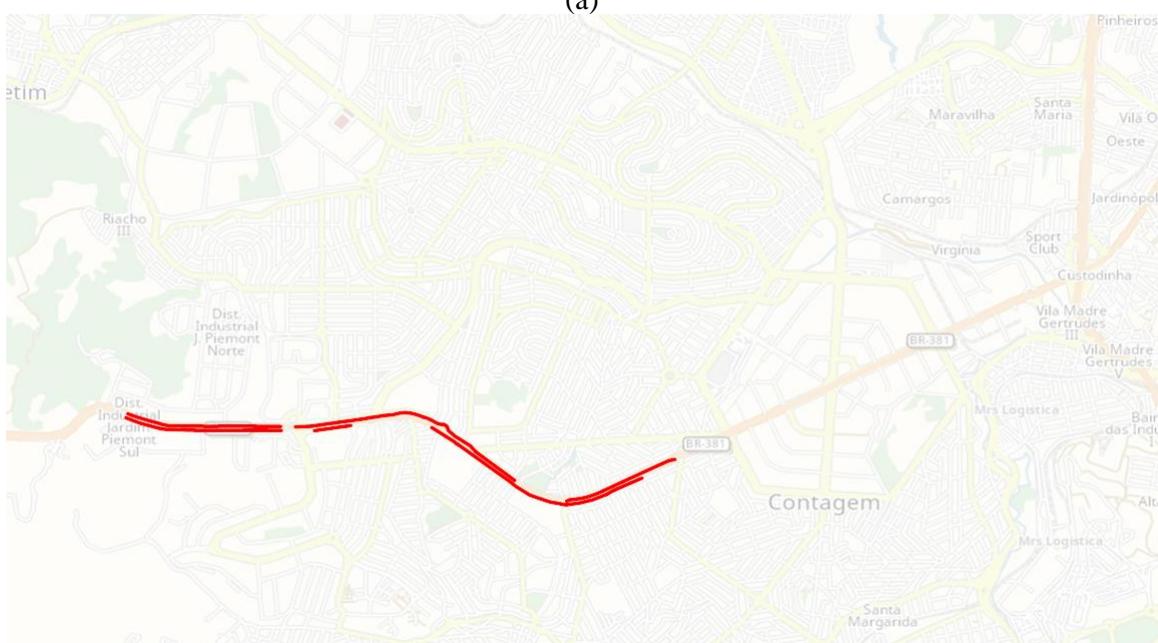
Fonte: Elaboração LOGIT

Nas marginais do trecho da Fernão Dias da RMSP, em ambos os sentidos, há uma agulha de acesso à marginal, e duas saídas da marginal para a expressa.

**Figura 79 – Trechos de marginal existente na Fernão Dias na RMBH (a) com destaque para o trecho mais contínuo (b)**



(a)



(b)

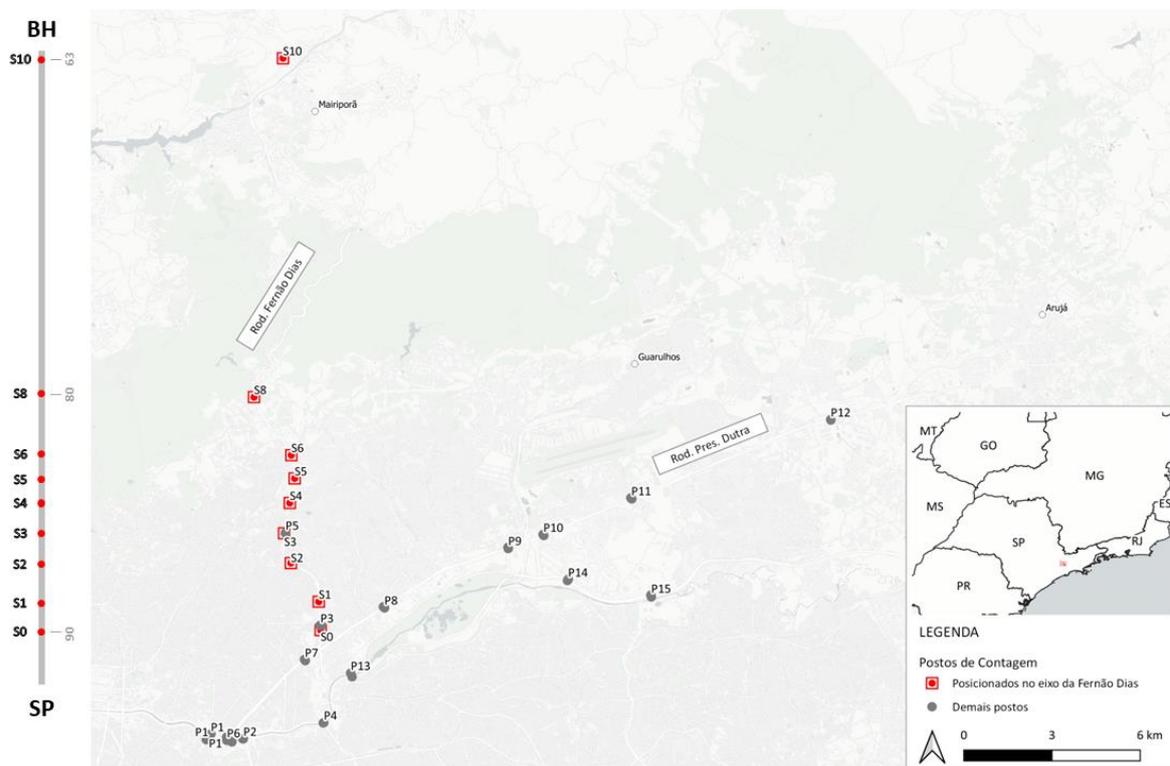
Fonte: Elaboração LOGIT

O trecho de marginais na RMBH não é totalmente contínuo, sendo o trecho escolhido para um dos cenários futuros (b) carente de prolongamentos para o pleno funcionamento, assunto que será tratado no Capítulo 6.1. No sentido São Paulo, há seis agulhas de acesso à marginal e cinco saídas da marginal para a expressa, já no sentido Belo Horizonte, são sete agulhas de acesso à marginal e duas saídas da marginal para a expressa.

## 5.2 Caracterização da Demanda

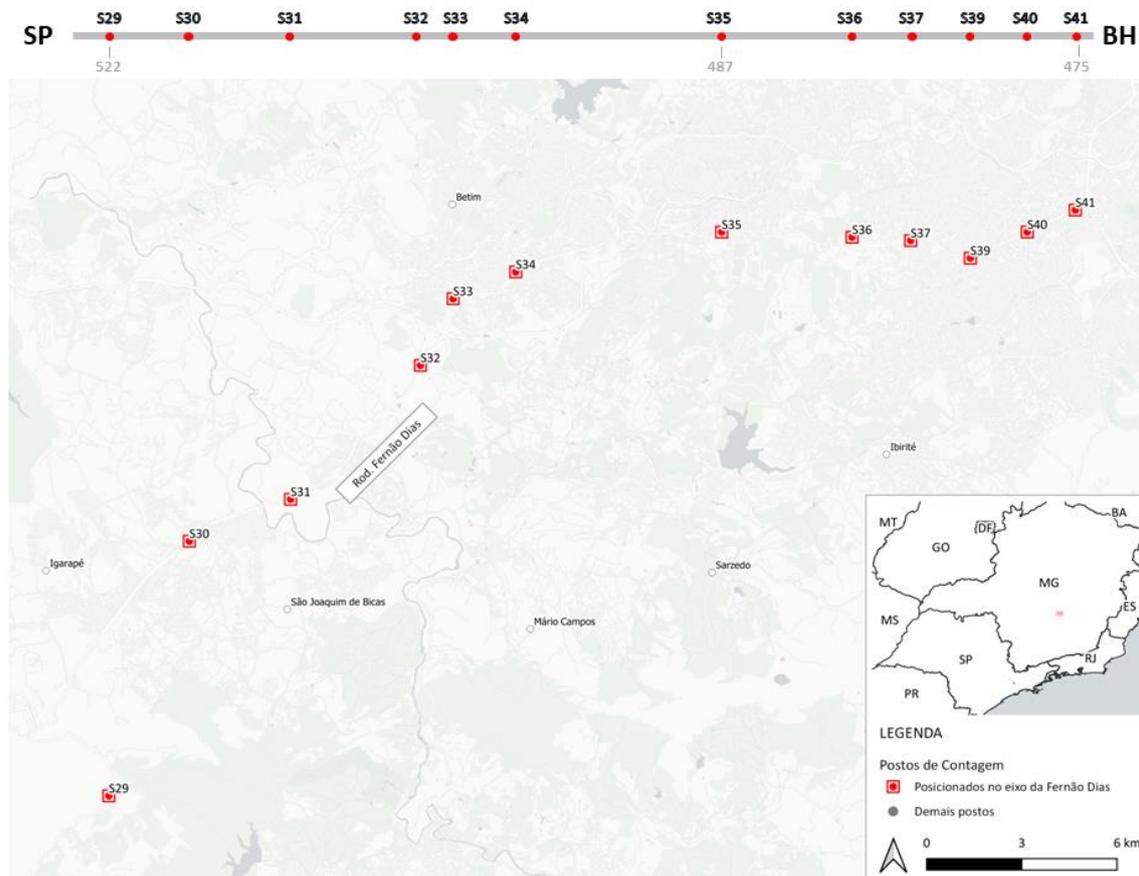
Para a caracterização da demanda que utiliza o eixo da Fernão Dias no trecho metropolitano de São Paulo e de Belo Horizonte foram selecionados os postos de pesquisa localizados diretamente ao longo do eixo da rodovia (S1 a S10, na RMSP, e S29 a S41, na RMBH), conforme indicado na Figura 80 e na Figura 81.

**Figura 80 – Destaque dos postos de pesquisa CVC utilizados para a caracterização da demanda na Fernão Dias no trecho da RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 81 – Destaque dos postos de pesquisa CVC utilizados para a caracterização da demanda na Fernão Dias no trecho da RMBH**

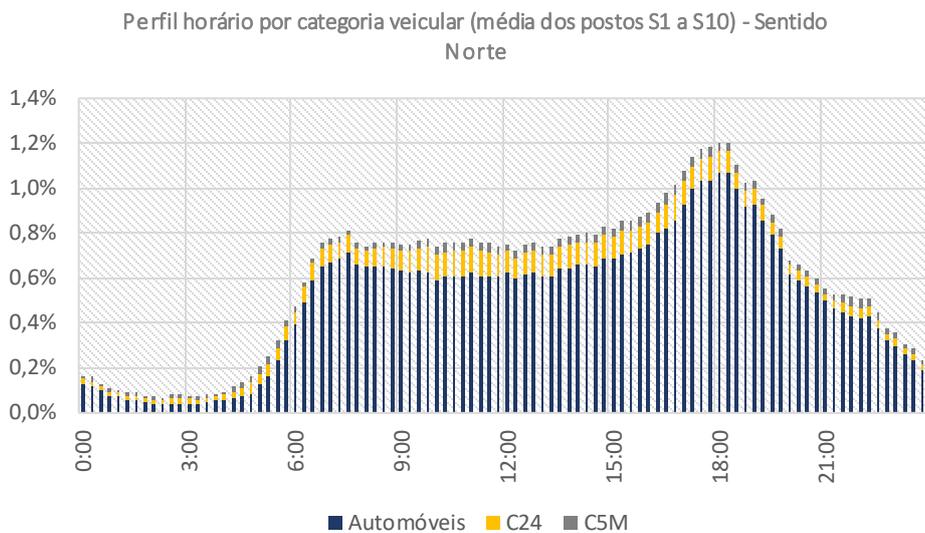


Fonte: Elaboração LOGIT

No que diz respeito ao perfil horário médio em um dia útil, a Figura 82 e a Figura 83 apresentam a média para todos os postos pesquisados na RMSP (S0 a S10) e a Figura 84 e a Figura 85 para os postos pesquisados da RMBH (S29 a S41). Em ambos os gráficos é apresentada a seguinte informação: cada barra está empilhada por categoria veicular (automóvel, caminhão de 2 a 4 eixos e caminhão de 5 ou mais eixos), representando o fluxo horário; no eixo vertical o fluxo horário é apresentado como a razão entre o fluxo horário da respectiva categoria em relação ao total do volume diário, ambas variáveis em veículos equivalentes. Obtém-se, portanto, o perfil horário médio de dia útil por categoria veicular.

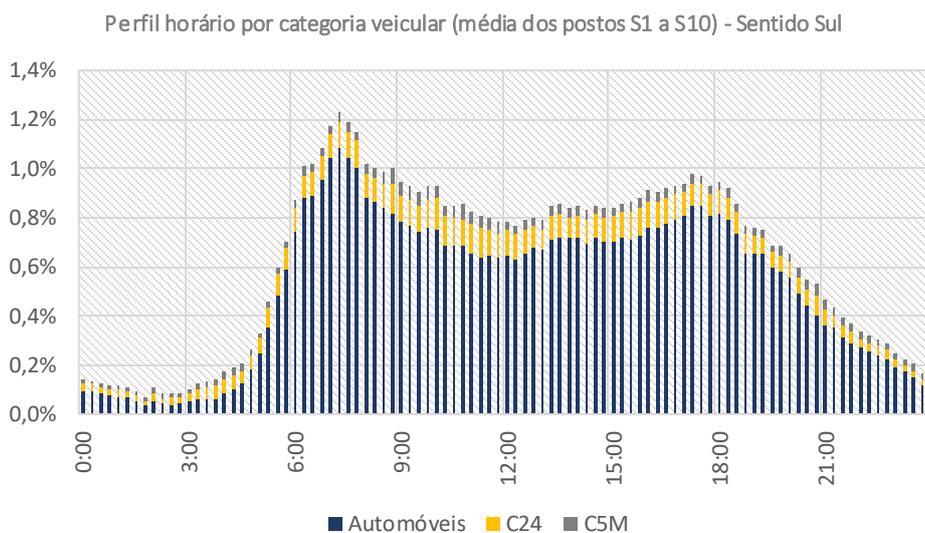
O cálculo de VEQ (veículos equivalentes de tráfego) considerou os seguintes fatores de conversão: 1 PCU (*passenger car unit*) para automóvel, 2 PCU para caminhão rígido e 2,5 PCU para caminhão articulado.

**Figura 82 – Perfil horário da média dos postos S1 a S10 (RMSP) no sentido Belo Horizonte, por categoria veicular**



Fonte: Elaboração LOGIT

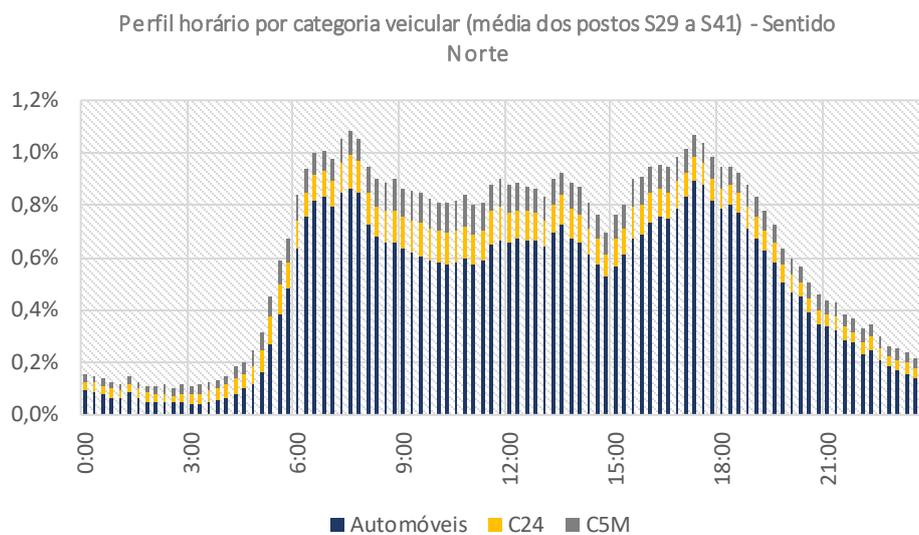
**Figura 83 – Perfil horário da média dos postos S1 a S10 (RMSP) no sentido São Paulo, por categoria veicular**



Fonte: Elaboração LOGIT

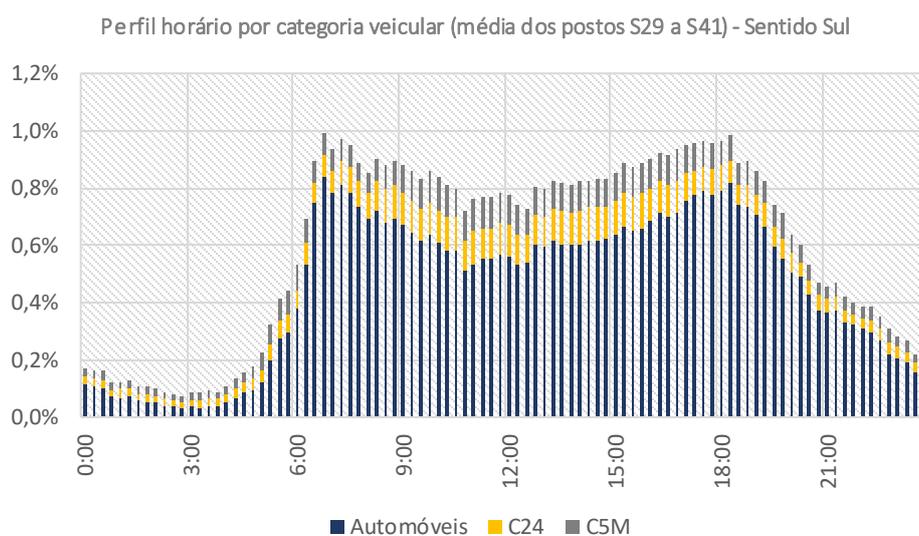
Observa-se o comportamento pendular dos veículos, conforme já mencionado, com um maior volume no pico da manhã no sentido São Paulo, e no pico da tarde, no sentido Belo Horizonte.

**Figura 84 – Perfil horário da média dos postos S29 a S41 (RMBH) no sentido Belo Horizonte, por categoria veicular**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 85 – Perfil horário da média dos postos S29 a S41 (RMBH) no sentido São Paulo, por categoria veicular**



Fonte: Elaboração LOGIT

Na RMBH é possível também verificar os picos da manhã e tarde, porém com menos diferença entre os sentidos em cada um dos períodos, sendo menos perceptível a questão da pendularidade.

### 5.2.1 Perfil de Carregamento

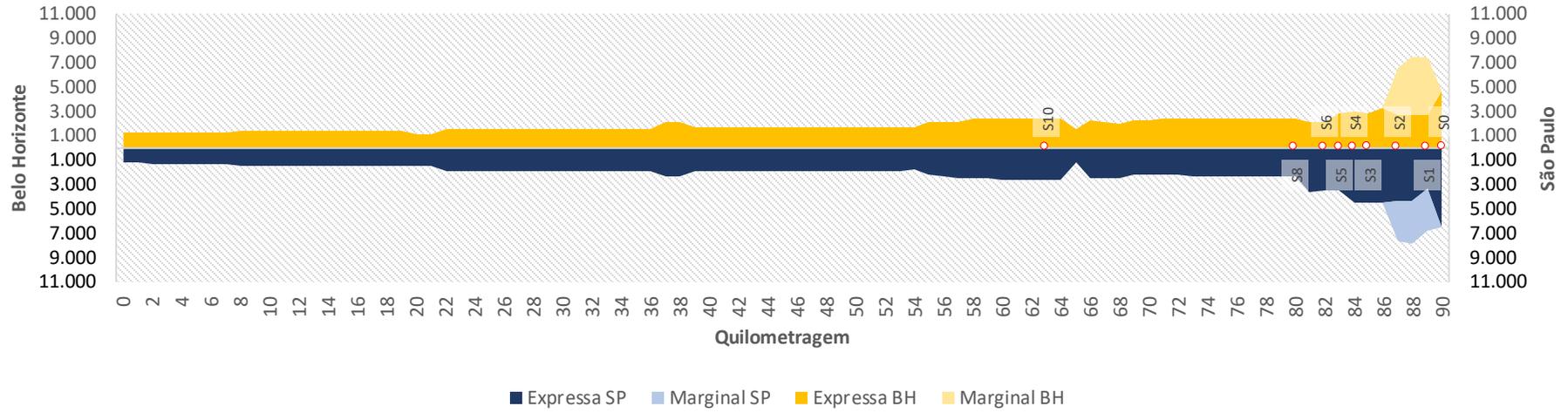
Os gráficos da Figura 86 e da Figura 87 ilustram o perfil de carregamento na Rodovia Fernão Dias na RMSP e na RMBH, respectivamente, em veículos/hora, empilhando o volume das pistas marginal e expressa em um mesmo sentido para (a) a hora-pico manhã e (b) a hora-pico tarde. Os volumes mais próximos do eixo horizontal representam os volumes das pistas expressas, enquanto os volumes mais distantes, das pistas marginais. O eixo horizontal representa os marcos quilométricos da Fernão Dias, sendo que os volumes representados acima do eixo correspondem ao

sentido Belo Horizonte e abaixo, ao sentido São Paulo. A título de referência, foram destacados ao longo dos marcos quilométricos os pontos de contagem ao longo da rodovia.

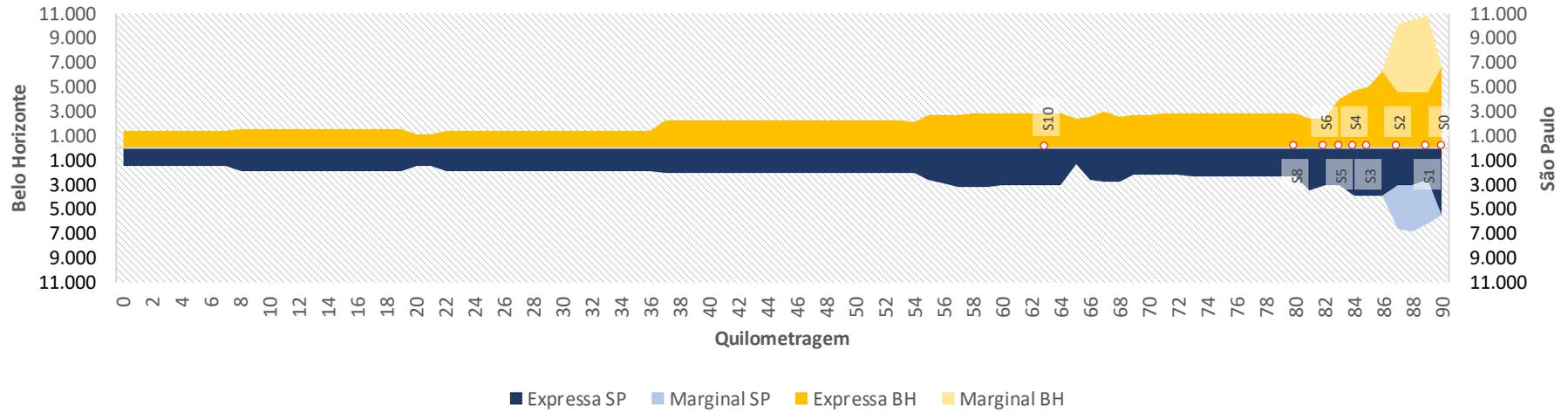
Na Figura 86 (a) é possível identificar uma grande movimentação próximo à São Paulo, com os volumes em ambos os sentidos chegando a 7.700 veículos/h no trecho entre as agulhas de saída da pista expressa. Na hora-pico tarde (b), é possível observar o sentido Belo Horizonte bem mais carregado que o sentido São Paulo, chegando a 10.900 veículos/h, comparados a 7.000 veículos/h no sentido oposto, comportamento que se mantém no restante da rodovia. A pendularidade é mais evidente ao comparar os sentidos entre si, nos diferentes períodos, observando ao aumento de volume no sentido Belo Horizonte do período manhã para o da tarde.

Já na RMBH, ilustrada pela Figura 87, mostra uma maior movimentação próxima à cidade de Belo Horizonte. O sentido São Paulo ganha volume do horário pico manhã para o pico tarde, representando o comportamento pendular já comentado anteriormente.

Figura 86 – Perfil de carregamento no Cenário Atual da RMSP na (a) hora-pico manhã e na (b) hora-pico tarde



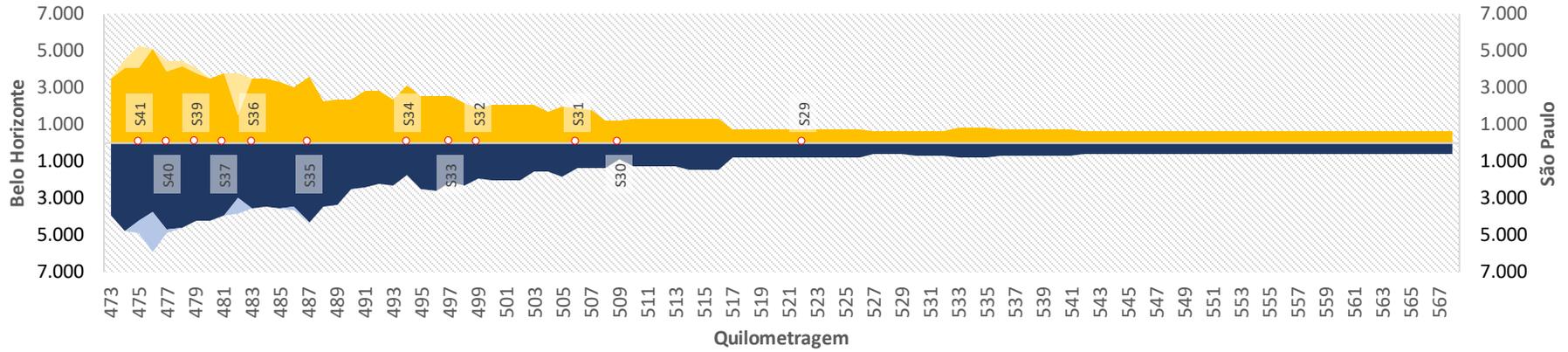
(a)



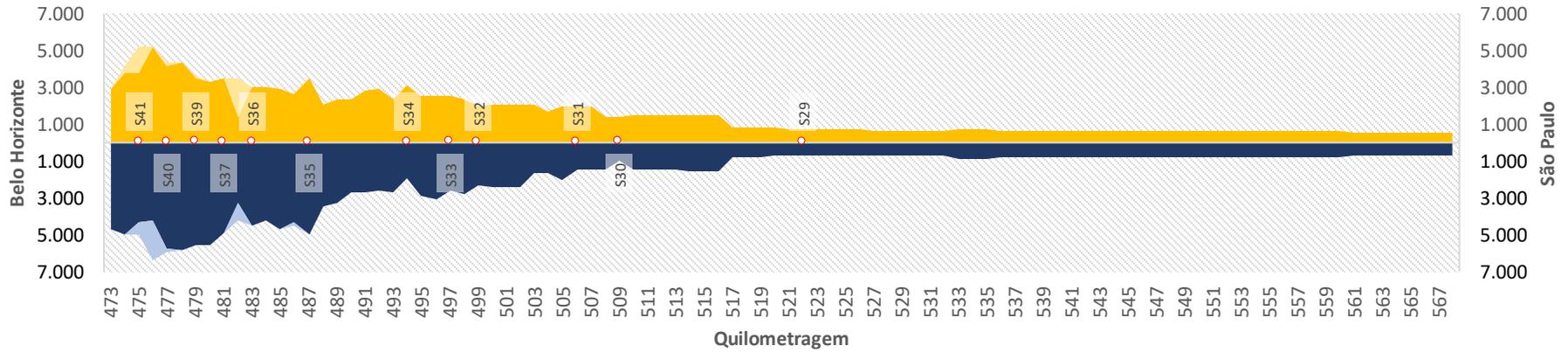
(b)

Fonte: Elaboração LOGIT

Figura 87 – Perfil de carregamento no Cenário Atual da RMBH na (a) hora-pico manhã e na (b) hora-pico tarde



(a)

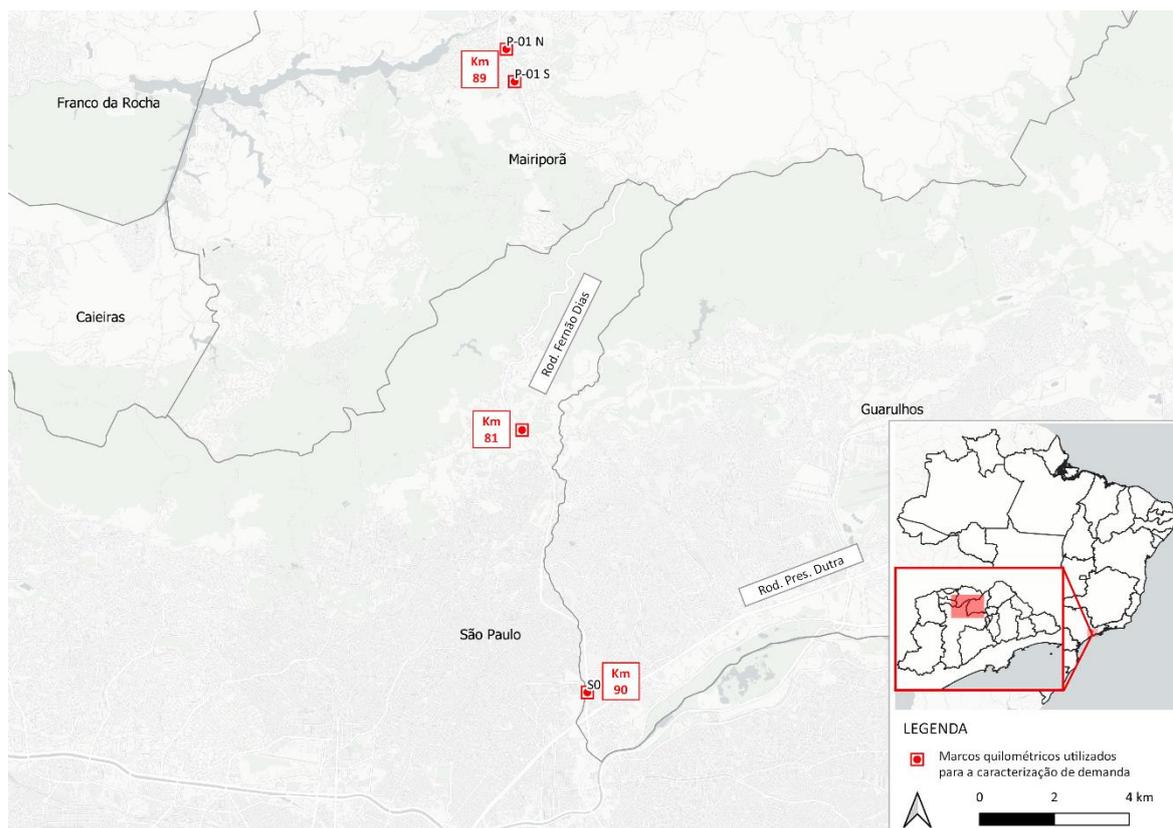


(b)

Fonte: Elaboração LOGIT

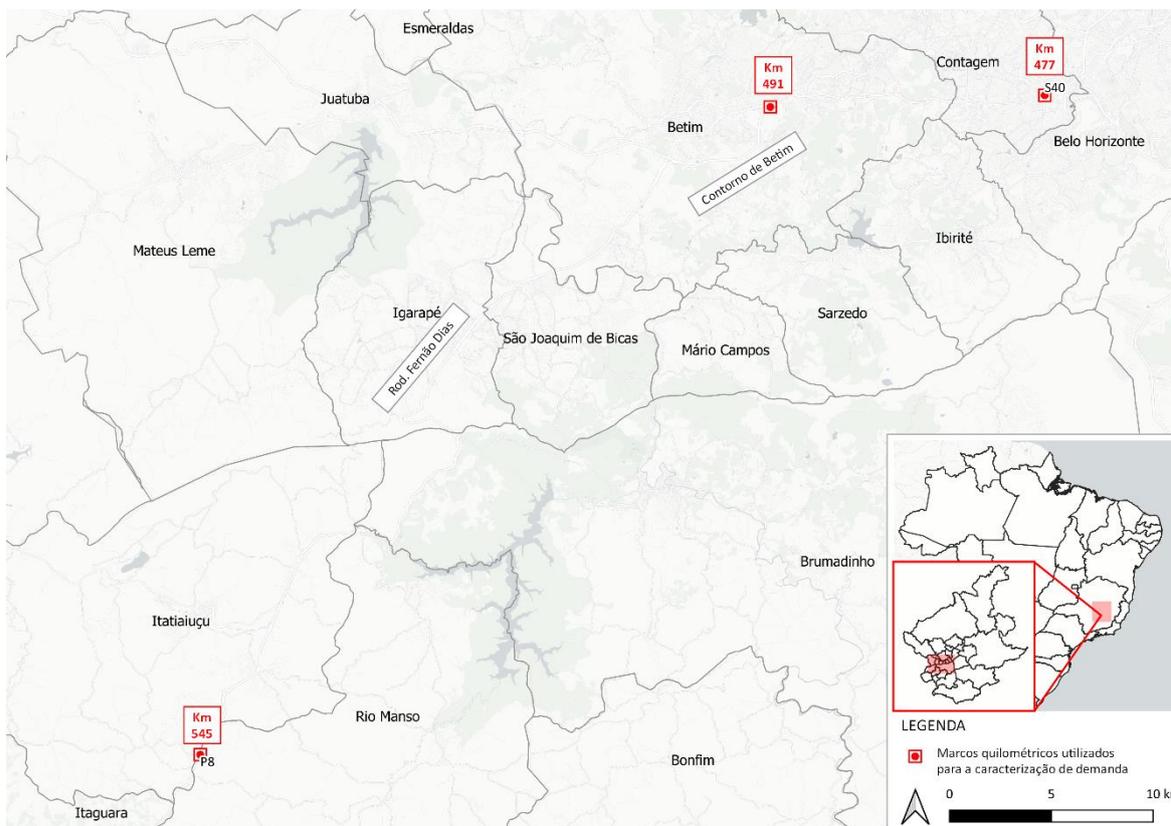
Para efeito de estudo de caso, foram escolhidos pontos que representam importantes divisas e dispositivos ao longo da rodovia. Para a RMSP, foram destacados os pontos S0 (km 90, próximo ao encontro com a Dutra), o km 81 sentido Norte (após o acesso de Guarulhos) e a praça de pedágio P-01 (km 65, próximo a Mairiporã). Para a RMBH, foram destacados os pontos S40 (km 477, na divisa entre os municípios de Contagem e Belo Horizonte), o km 491 (próximo ao acesso ao Contomo de Betim) e a praça de pedágio P-08 (km 545, entre os municípios de Rio Manso e Itatiaiuçu). Os pontos estão destacados na Figura 88 e Figura 89 (RMSP e RMBH, respectivamente).

**Figura 88 – Marcos quilométricos em destaque utilizados para a caracterização da demanda da Fernão Dias na RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 89 – Marcos quilométricos em destaque utilizados para a caracterização da demanda da Fernão Dias na RMBH**



Fonte: Elaboração LOGIT

Nos itens subsequentes são apresentados os mapas de carregamento da situação atual para a rede como um todo e para cada um dos marcos selecionados, no pico da manhã e no pico da tarde. Os mapas ilustram o carregamento das vias com as viagens que atravessam o ponto analisado, em roxo, sendo que quanto maior a espessura dos segmentos, maior o volume de veículos; nos mapas das seções destacadas, as zonas de tráfego aparecem representadas pelos respectivos centroides e o tamanho dos círculos é proporcional ao volume de veículos, indicando em laranja as origens e em roxo os destinos das viagens, e a linha e seta azuis indicam a localização e sentido da seção de corte (ponto) analisado.

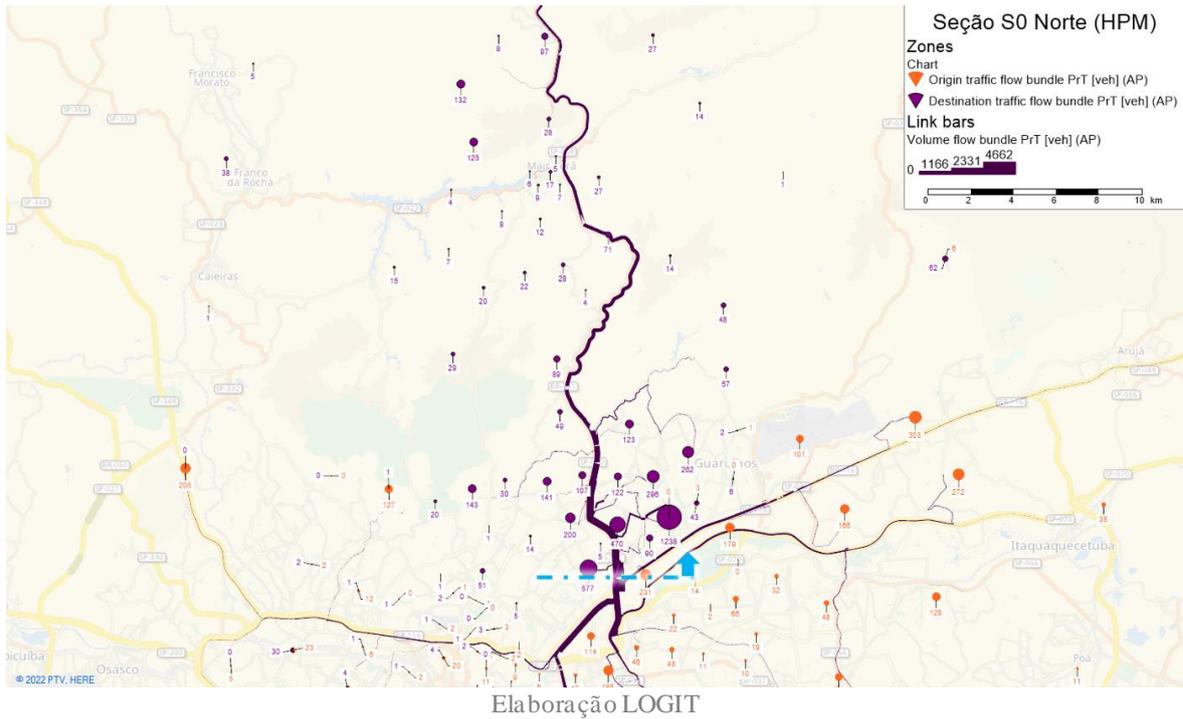
### 5.2.1.1 Hora-Pico Manhã

#### 5.2.1.1.1 RMSP

##### 5.2.1.1.1.1 Marco quilômetro 90

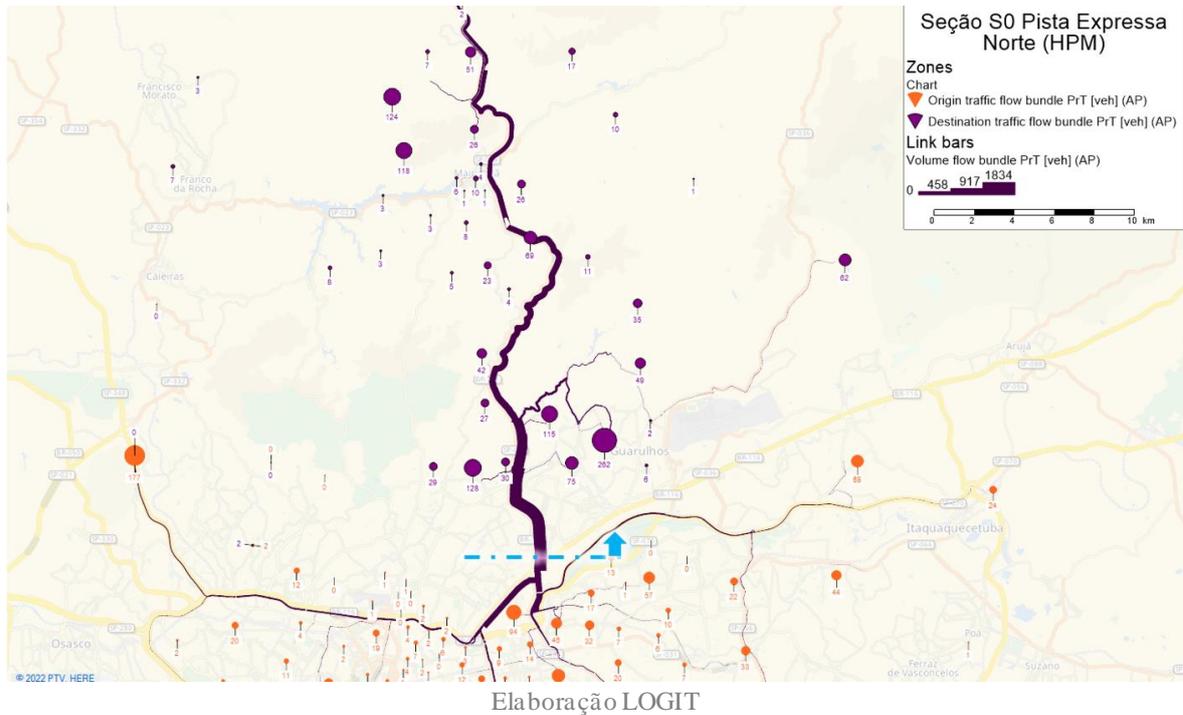
Por se tratar de uma seção próxima à chegada à RMSP, capta tanto viagens mais locais, com destino no município de Guarulhos, quanto viagens mais longas, com destino em Mairiporã, no sentido norte, como é possível verificar na Figura 90.

**Figura 90 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 90**

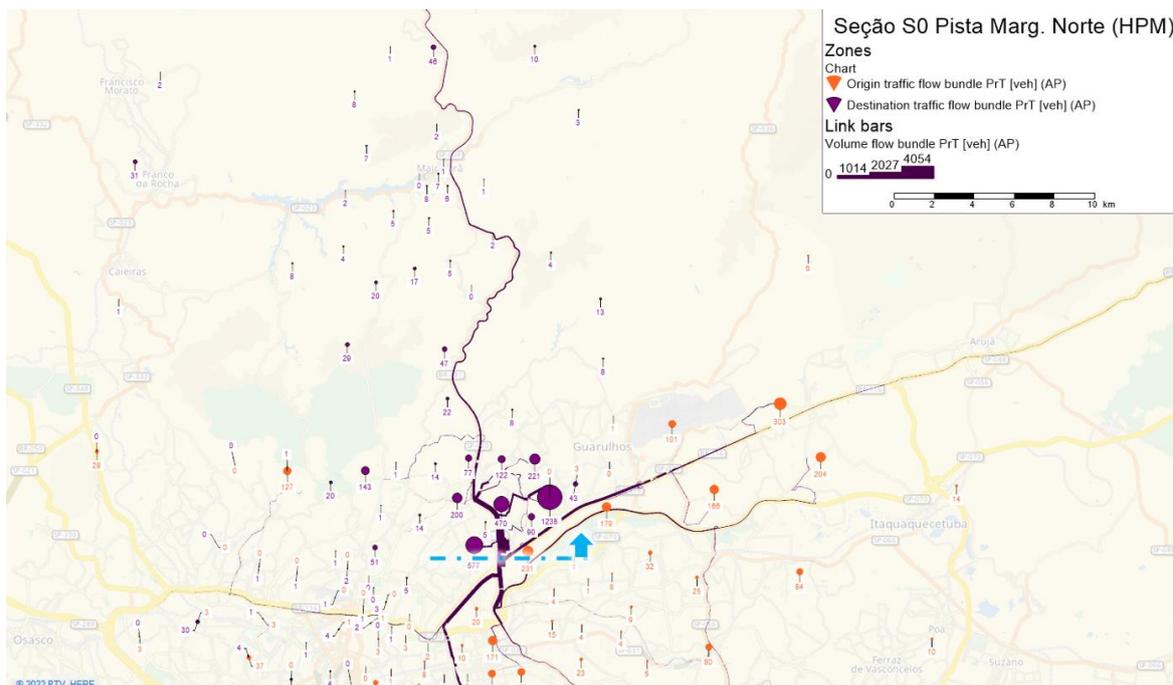


Trata-se de uma seção com presença de agulha que dá acesso às pistas marginal e local, no sentido norte, com a pista expressa sendo responsável pelas viagens de longa distância, e a pista marginal contendo mais viagens de curta distância, como é possível verificar na Figura 91 e na Figura 92.

**Figura 91 – Carregamento na pista expressa do sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 90**

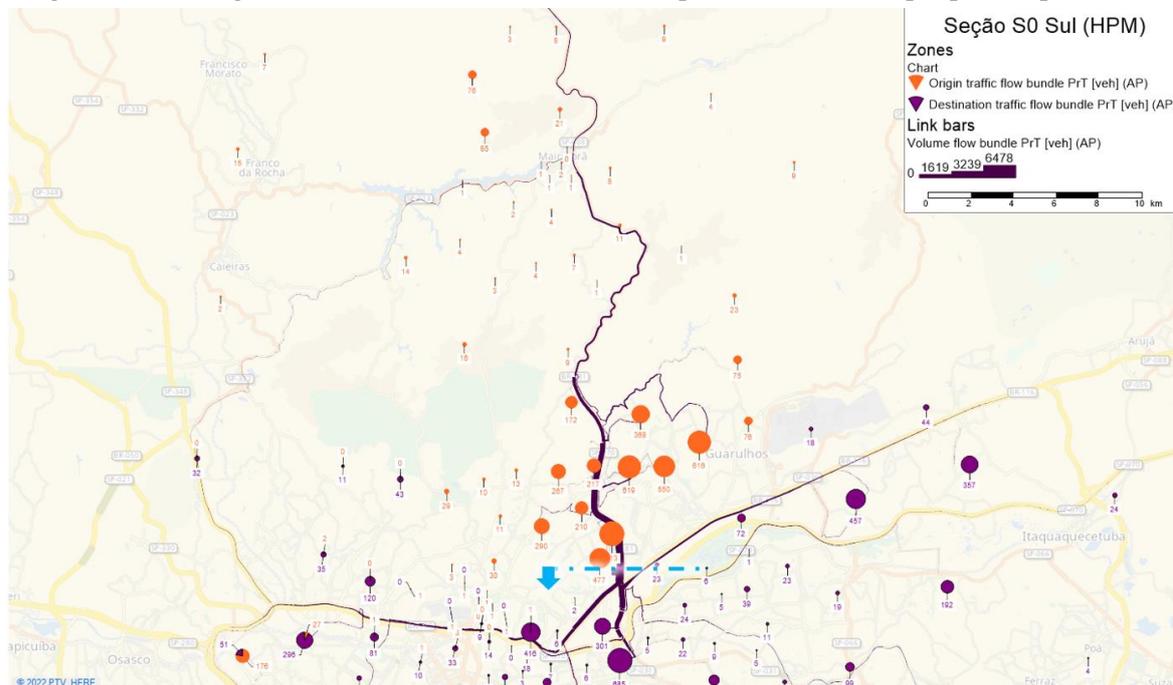


**Figura 92 – Carregamento na pista marginal do sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 90**



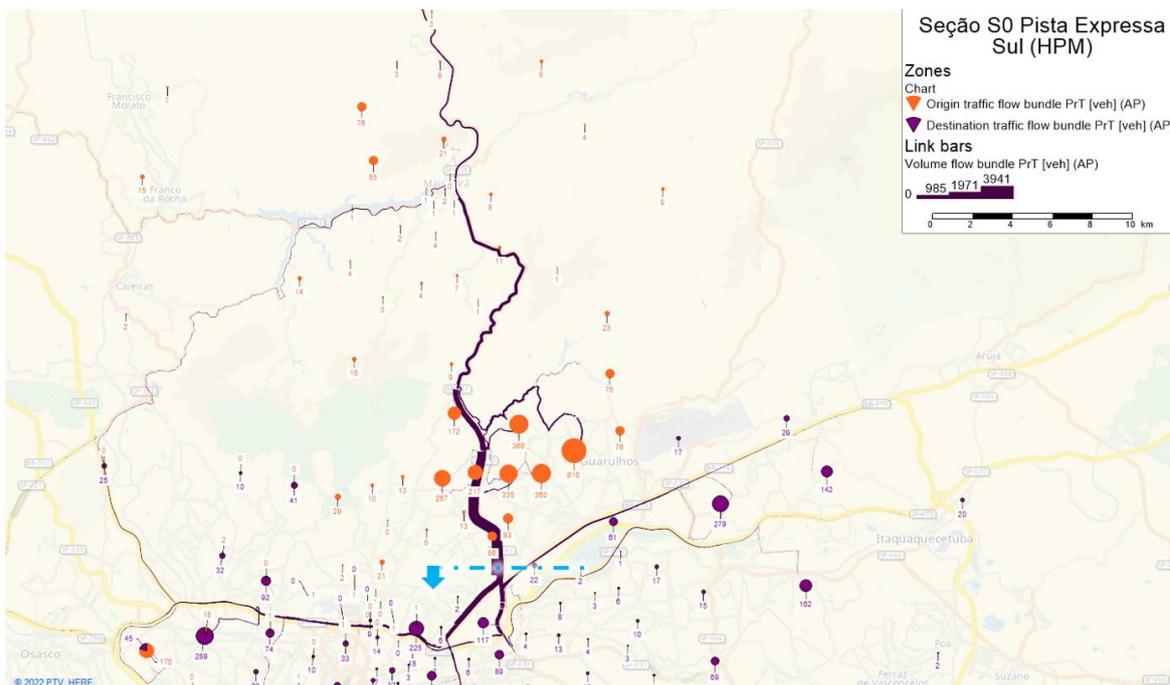
A Figura 93 mostra as viagens captadas no sentido sul da seção, com destino principalmente no município de São Paulo, e origens no município de Guarulhos e Mairiporã.

**Figura 93 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 90**



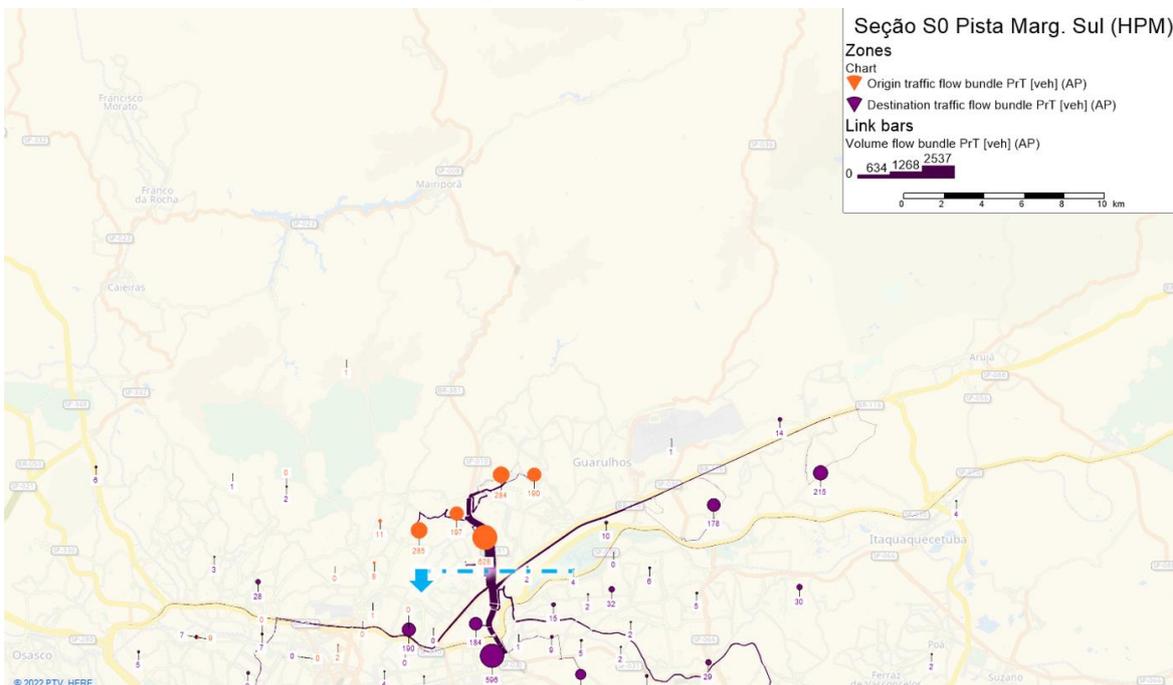
Novamente, a pista expressa capta as viagens mais longas, vindas de municípios ao norte, enquanto a pista marginal é utilizada por viagens mais curtas, saindo da região norte do município de São Paulo e Guarulhos, como mostram a Figura 94 e a Figura 97.

**Figura 94 – Carregamento na pista expressa do sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 90**



Elaboração LOGIT

**Figura 95 – Carregamento na pista marginal do sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 90**

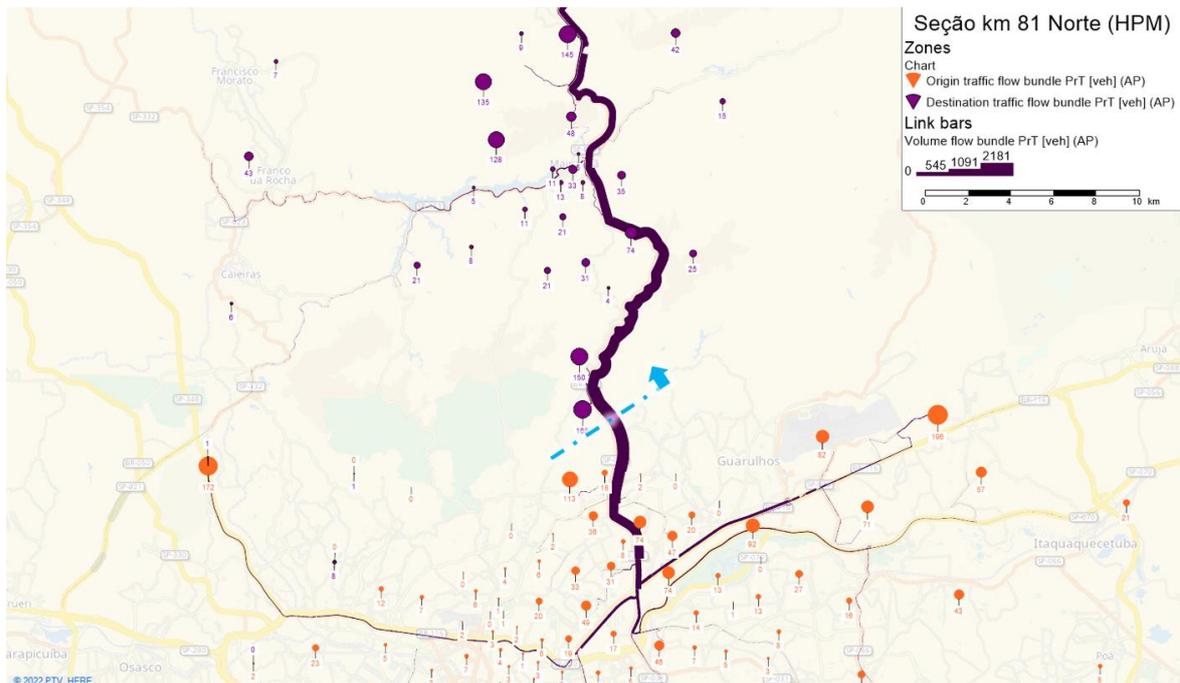


Elaboração LOGIT

#### 5.2.1.1.1.2 Marco quilômetro 81

O quilômetro 81 se encontra logo após o acesso de vias locais de Guarulhos à rodovia, no sentido norte. Como mostra a Figura 96, são viagens que atingem sobretudo municípios mais distantes ao norte, quando comparado com as viagens captadas na seção do km 90, mas que possuem origens nos municípios de São Paulo, Itaquaquecetuba e Guarulhos.

**Figura 96 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 81**

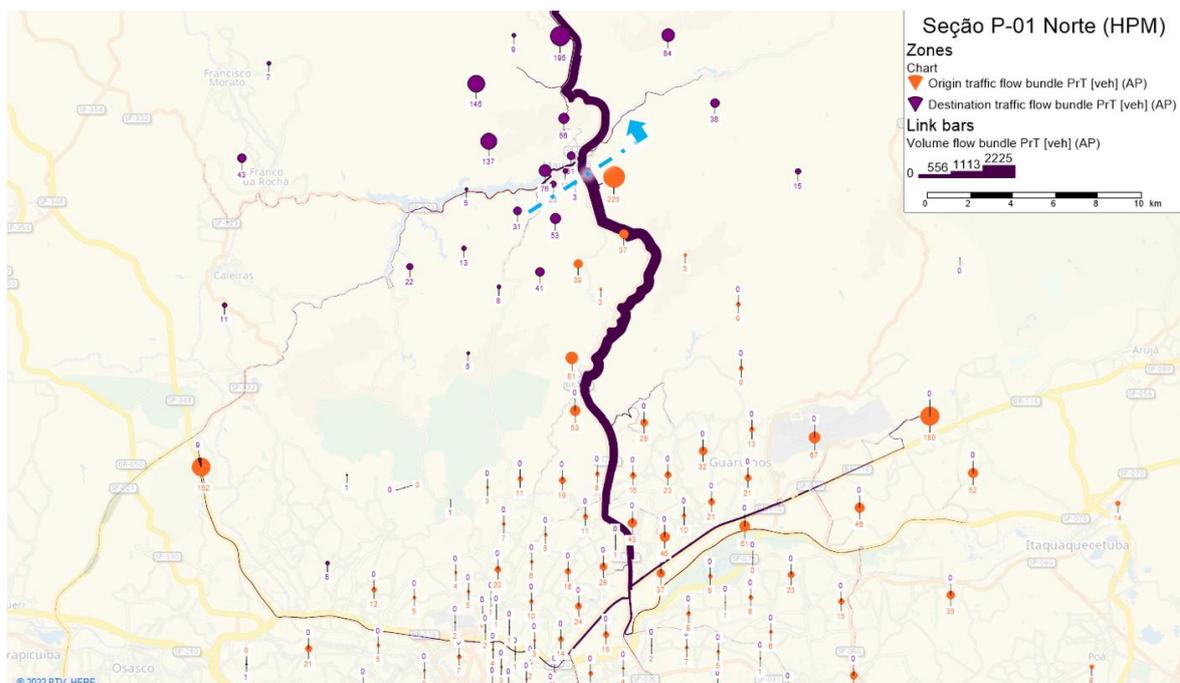


Elaboração LOGIT

### 5.2.1.1.1.3 Marco quilômetro 65

O quilômetro 65 é a seção onde se localizam a praça de pedágio de Mairiporã. As viagens captadas pelo pedágio no sentido norte são mais longas, com origens espalhadas nas regiões ao sul da rodovia, com destinos concentrados na região de Mairiporã.

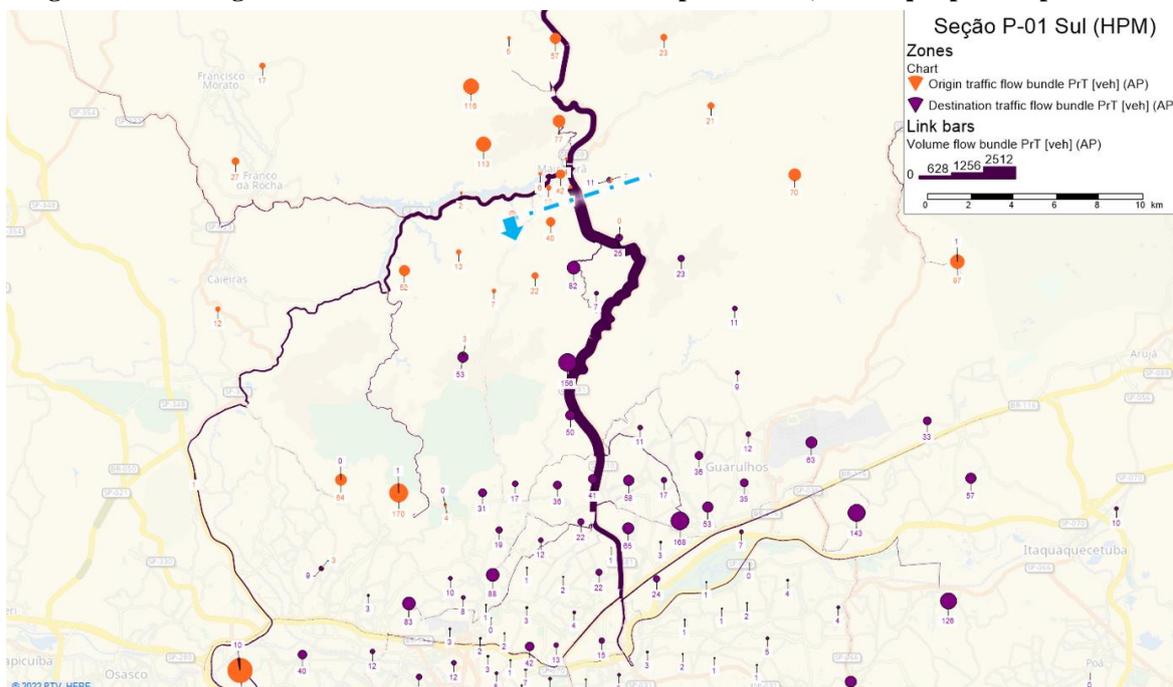
**Figura 97 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 65**



Elaboração LOGIT

No sentido sul, a Figura 98 mostra o mesmo comportamento, com viagens longas, com origens concentradas na região de Mairiporã, e destinos espalhados pelas zonas ao sul da rodovia.

**Figura 98 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 65**



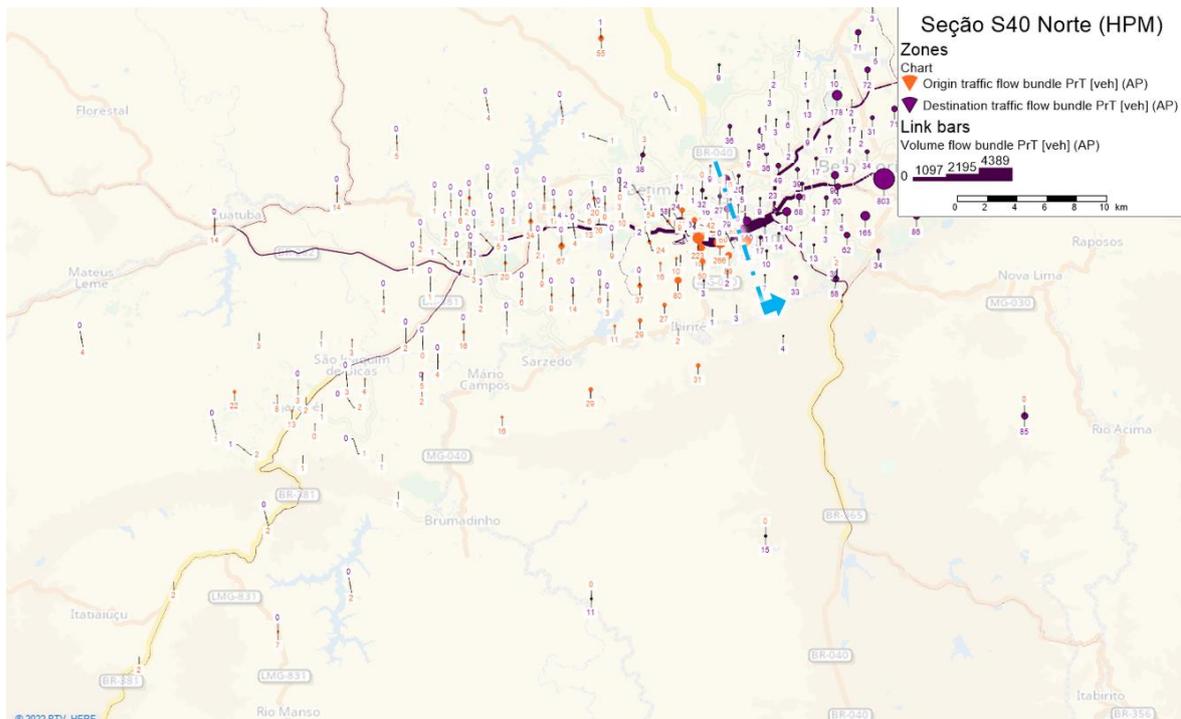
Elaboração LOGIT

### 5.2.1.1.2 RMBH

#### 5.2.1.1.2.1 Marco quilômetro 477

O quilômetro 477 da rodovia na RMBH fica próximo à divisa entre os municípios de Contagem e Belo Horizonte. Sendo assim, grande parte das viagens captadas são de curta distância, com origens e destinos próximos ao município de Belo Horizonte, no sentido norte, tanto na pista expressa quanto na marginal.

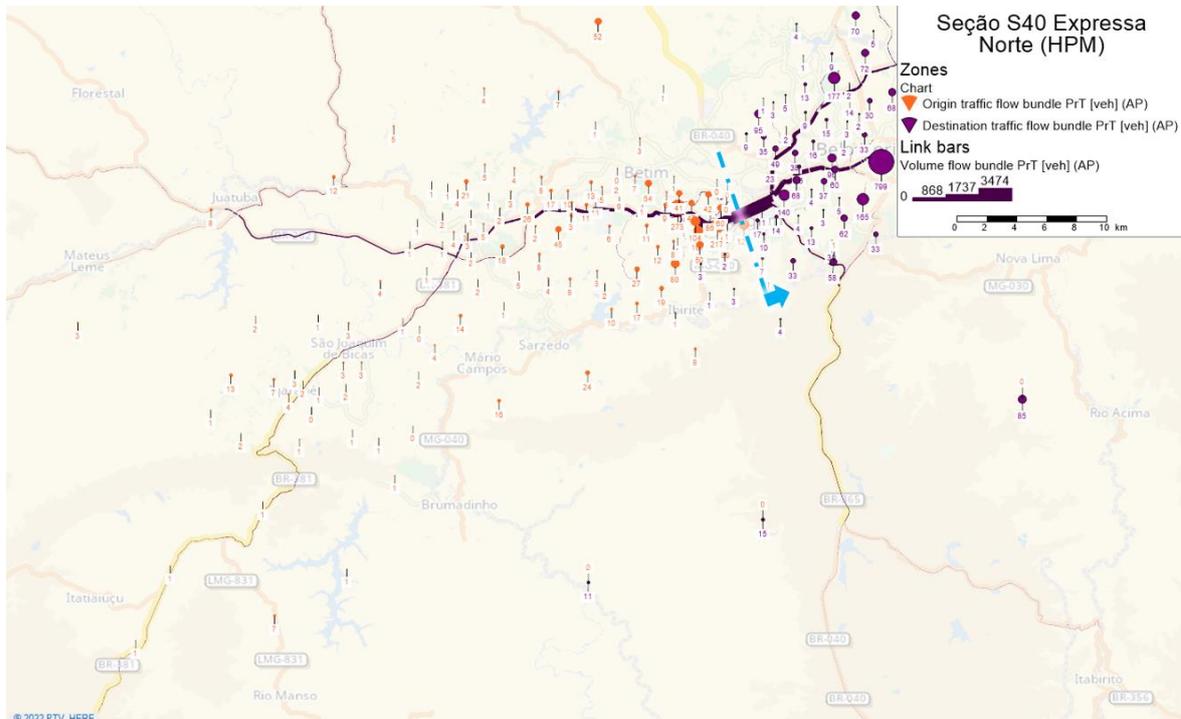
**Figura 99 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 477**



Elaboração LOGIT

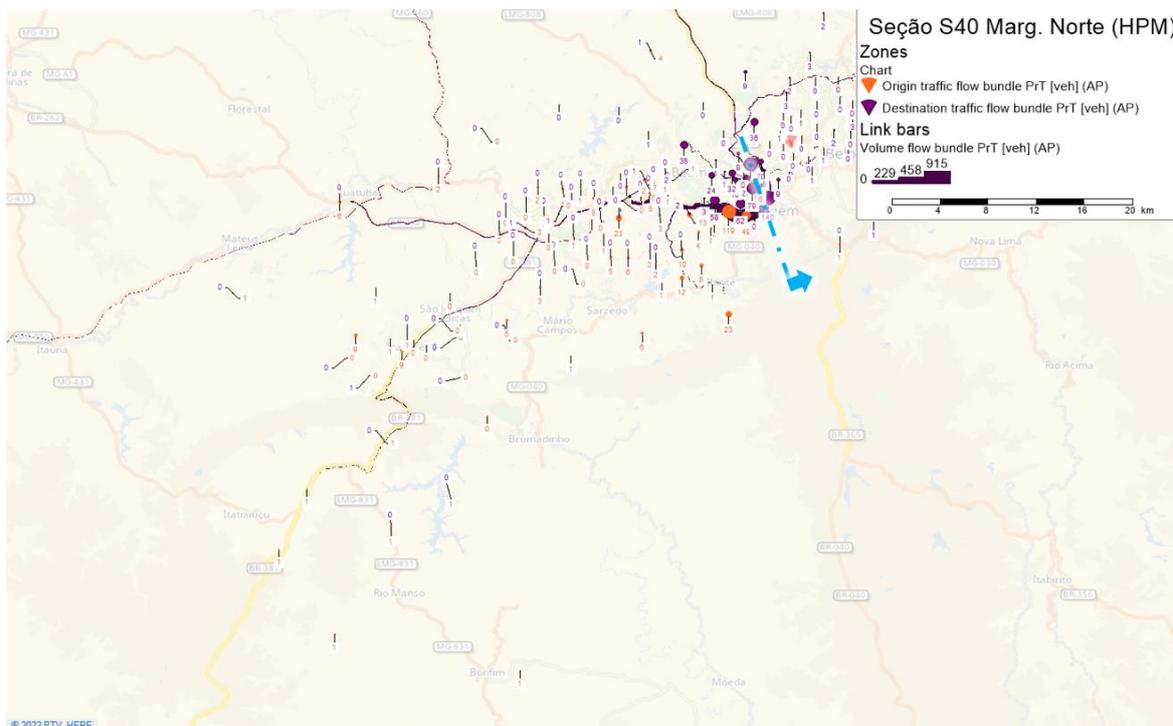
A seção se encontra próxima a uma agulha que dá acesso à pista marginal. Como mostra a Figura 100 e a Figura 101, a pista expressa engloba as viagens mais longas, e a marginal as mais locais.

**Figura 100 – Carregamento na pista expressa do sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 477**



Elaboração LOGIT

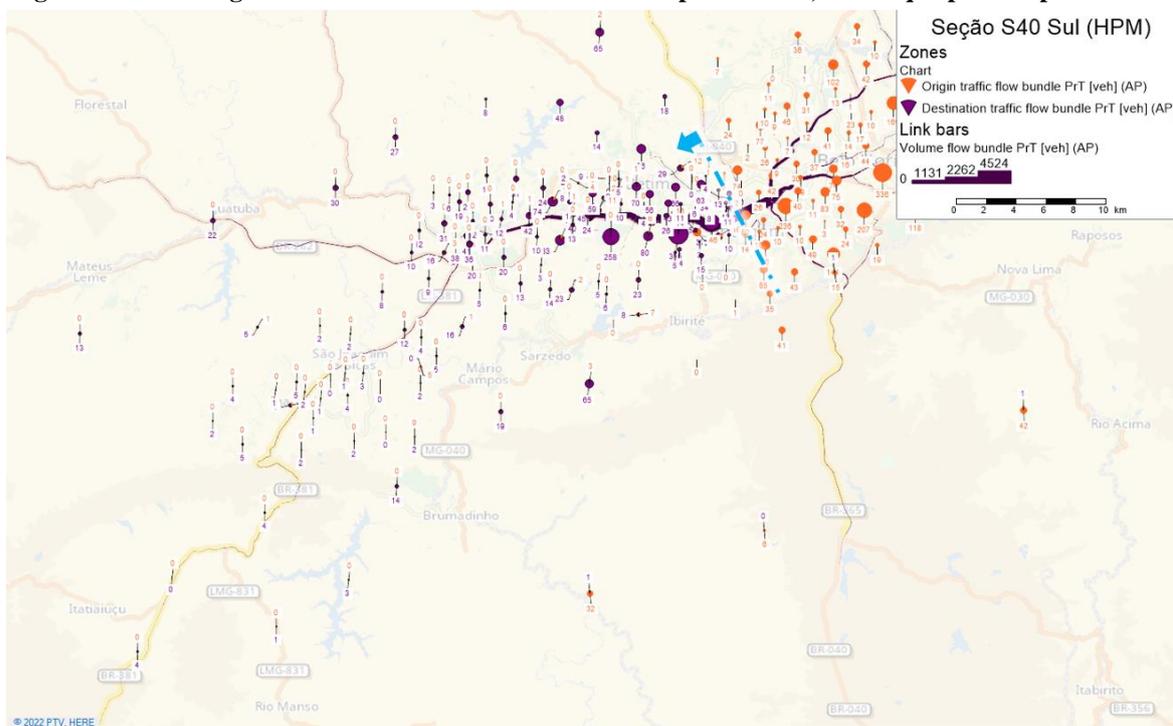
**Figura 101 – Carregamento na pista marginal do sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 477**



Elaboração LOGIT

No sentido sul, observa-se uma maior abrangência de zonas ao sul da seção como destino, como mostra a Figura 102.

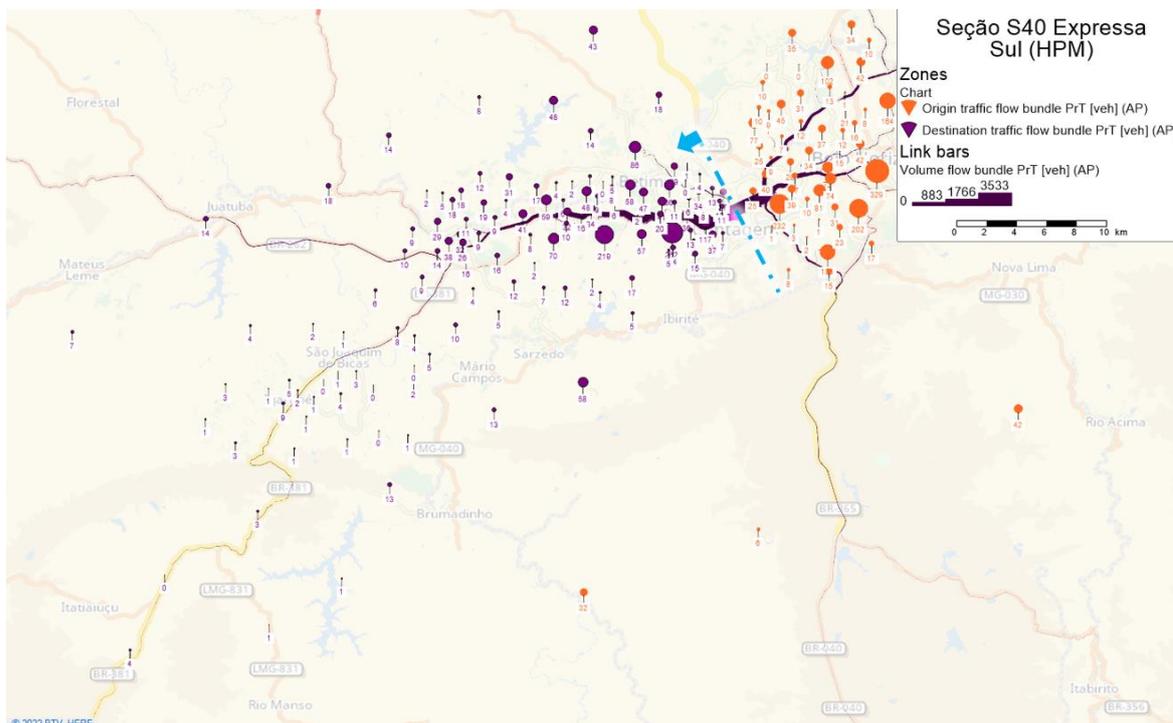
**Figura 102 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 477**



Elaboração LOGIT

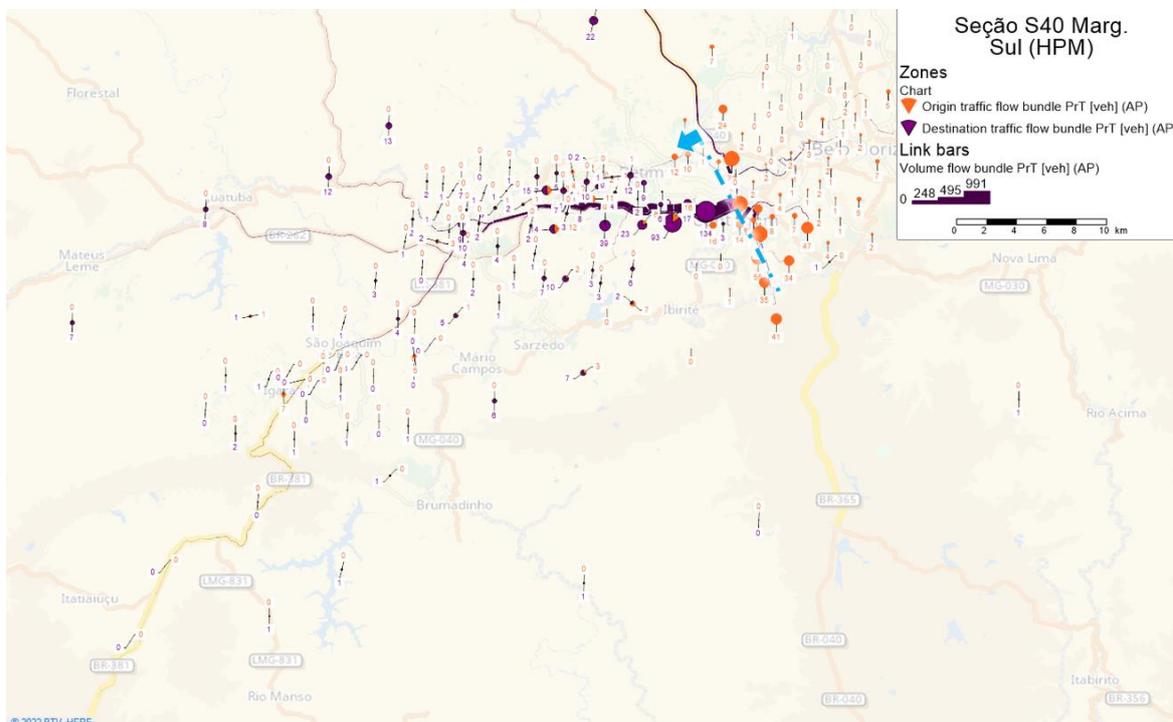
O comportamento entre as pistas marginal e expressa se mantém, conforme pode ser visualizado na Figura 103 (pista expressa) e Figura 104 (pista marginal).

**Figura 103 – Carregamento na pista expressa do sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 477**



Elaboração LOGIT

**Figura 104 – Carregamento na pista marginal do sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 477**



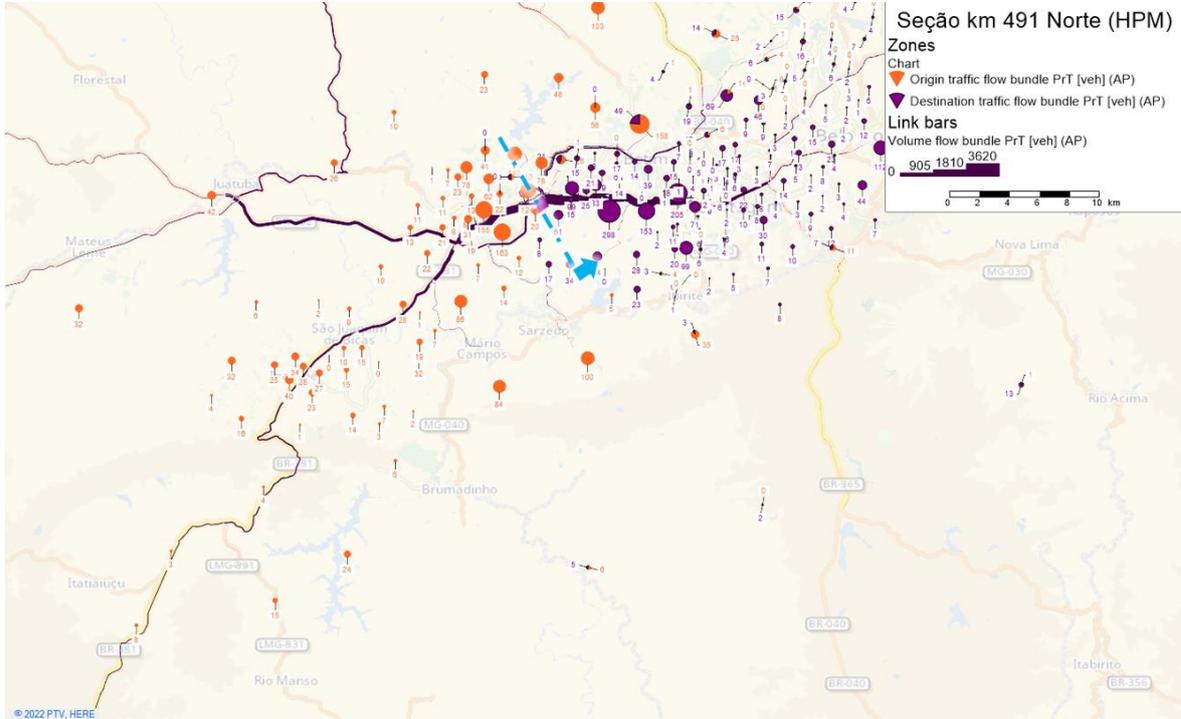
Elaboração LOGIT

#### 5.2.1.1.2.2 Marco quilômetro 491

O km 491 se encontra logo após a junção da rodovia Fernão Dias com o Contorno de Betim, no sentido norte, e logo antes dessa separação, no sentido sul. Engloba uma maior quantidade de

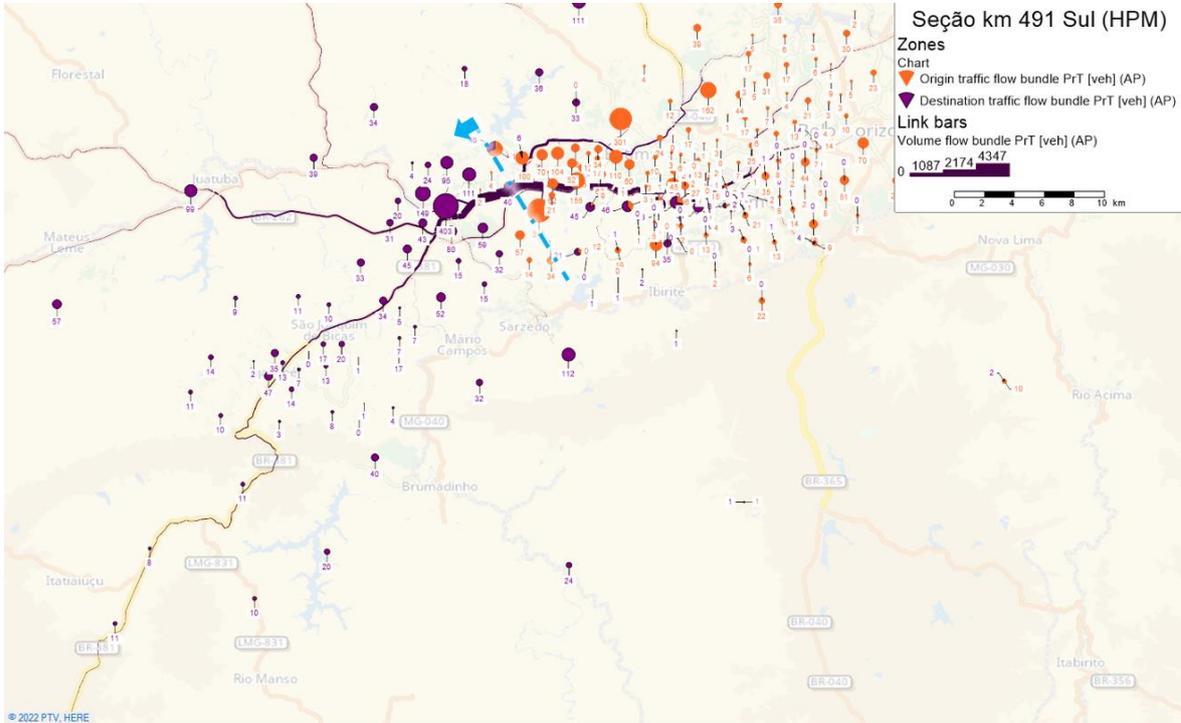
viagens do que o quilômetro 477, porém com origens e destinos concentrados em zonas próximas à seção, tanto no sentido norte (Figura 105) quanto no sentido sul (Figura 106).

**Figura 105 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 491**



Elaboração LOGIT

**Figura 106 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 491**

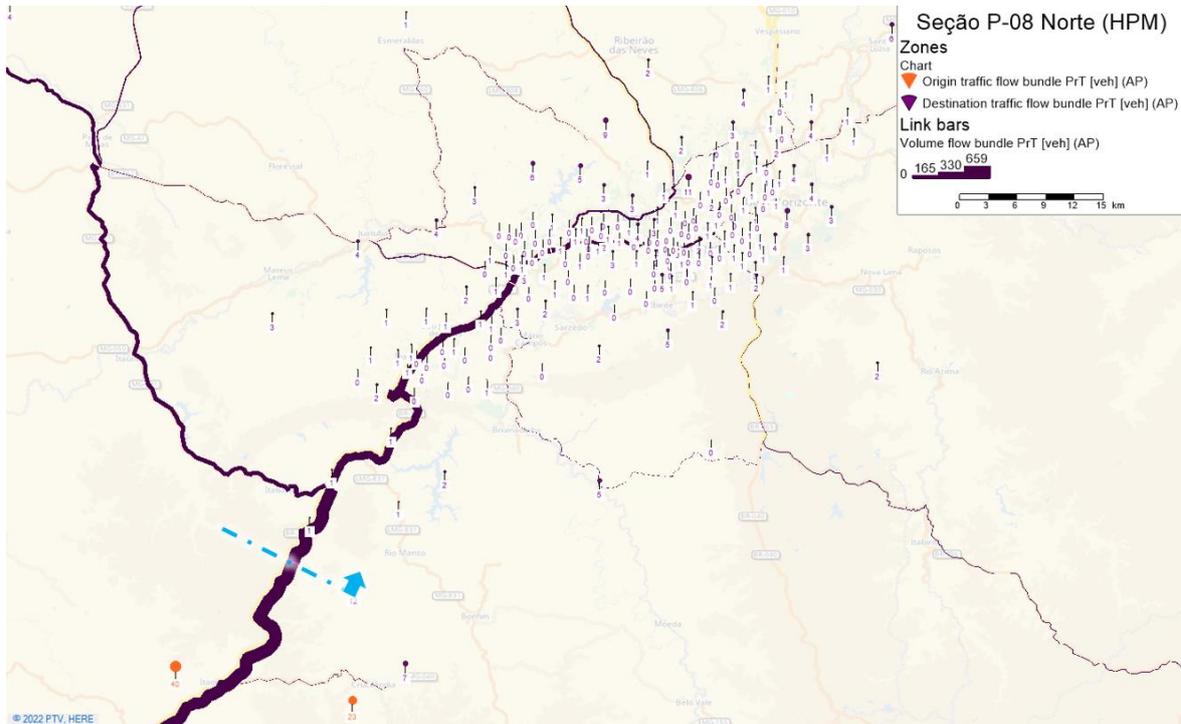


Elaboração LOGIT

### 5.2.1.1.2.3 Marco quilômetro 545

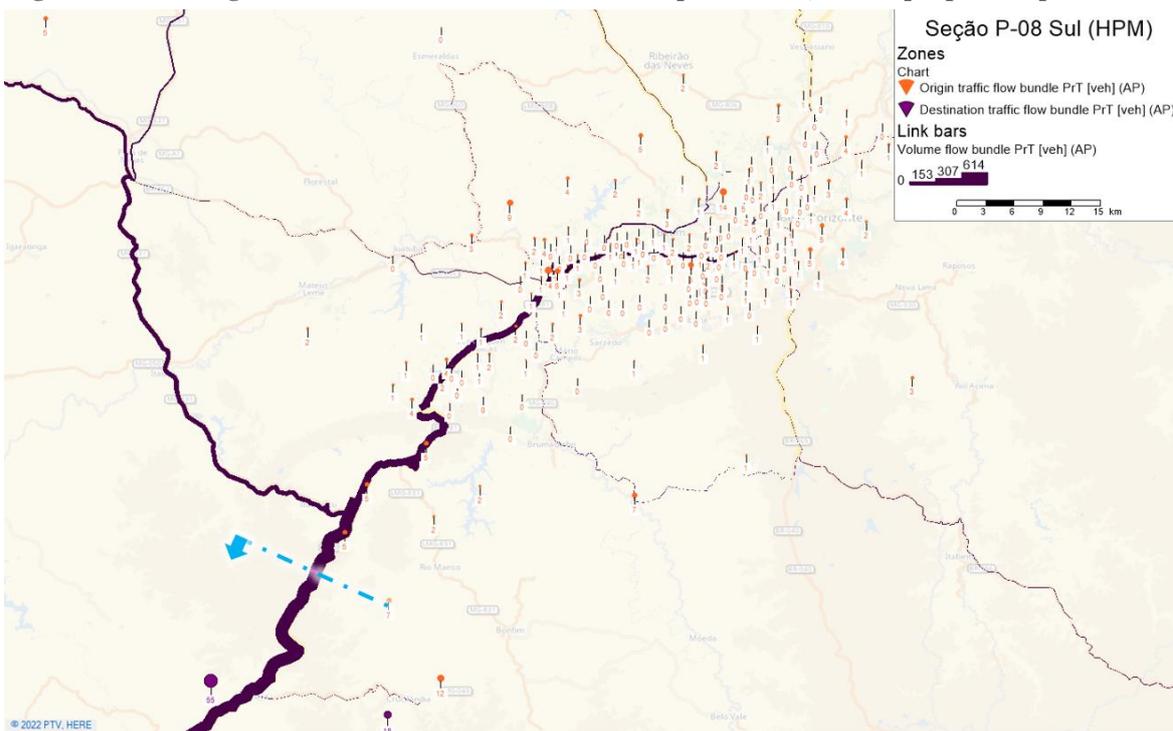
A seção do km 545 é onde se localiza a praça de pedágio de Itatiaiuçu. Observa-se como a seção no sentido norte (Figura 107) capta menos viagens do que os marcos quilométricos anteriores da RMBH, com origens principalmente em zonas fora da RMBH (São Paulo e Sudoeste de Minas Gerais), não englobadas na figura.

**Figura 107 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 545**



No sentido sul (Figura 108), o mesmo acontece: menos viagens do que nas seções da RMBH anteriores, e com os destinos principais sendo zonas fora da RMBH, em São Paulo e Sudoeste de Minas Gerais.

**Figura 108 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico manhã, fluxos que passam pelo km 545**



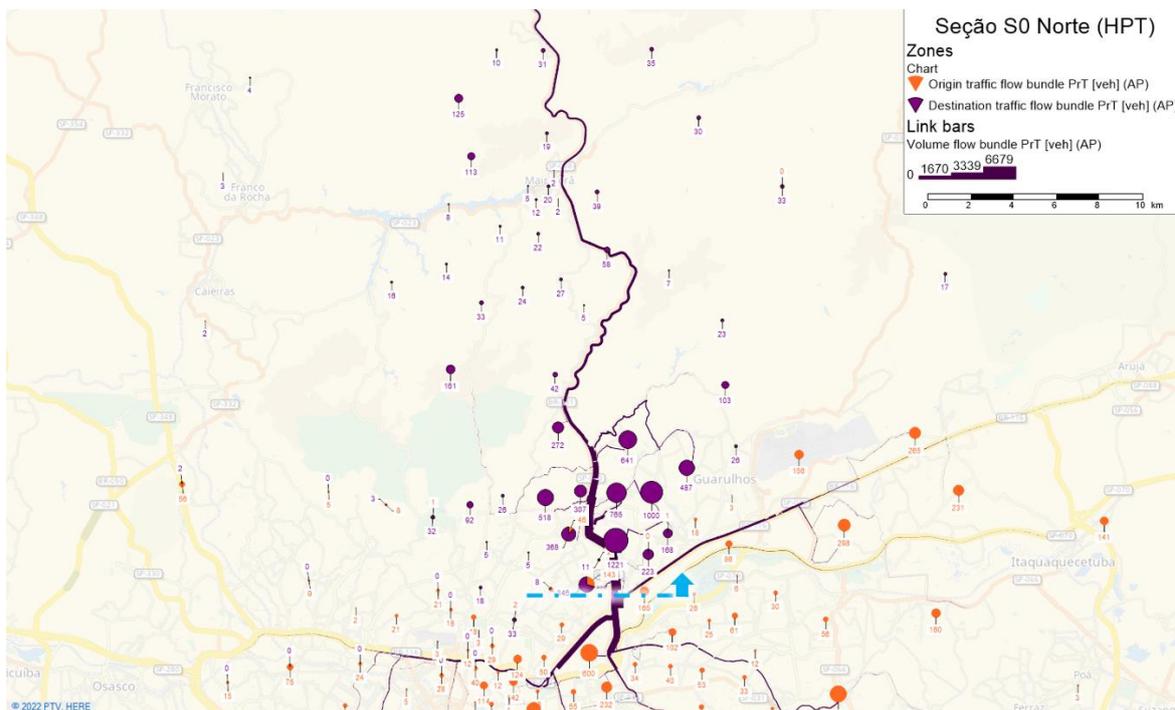
## 5.2.1.2 Hora-Pico Tarde

### 5.2.1.2.1 RMSP

#### 5.2.1.2.1.1 Marco quilômetro 90

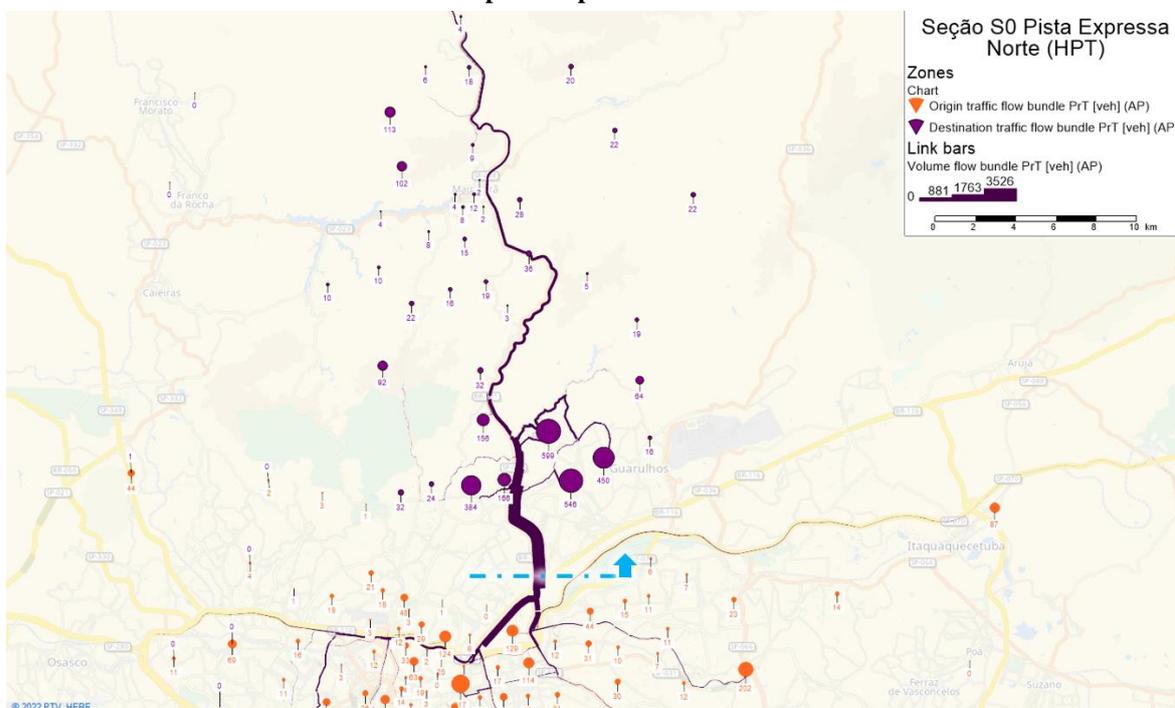
No período da tarde, como mostra a Figura 109, a seção do quilômetro 90 sentido norte capta as viagens pendulares saindo da RMSP, com o número de viagens com destino nos municípios ao norte, em especial Guarulhos, maior do que as captadas na hora-pico manhã.

**Figura 109 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 90**

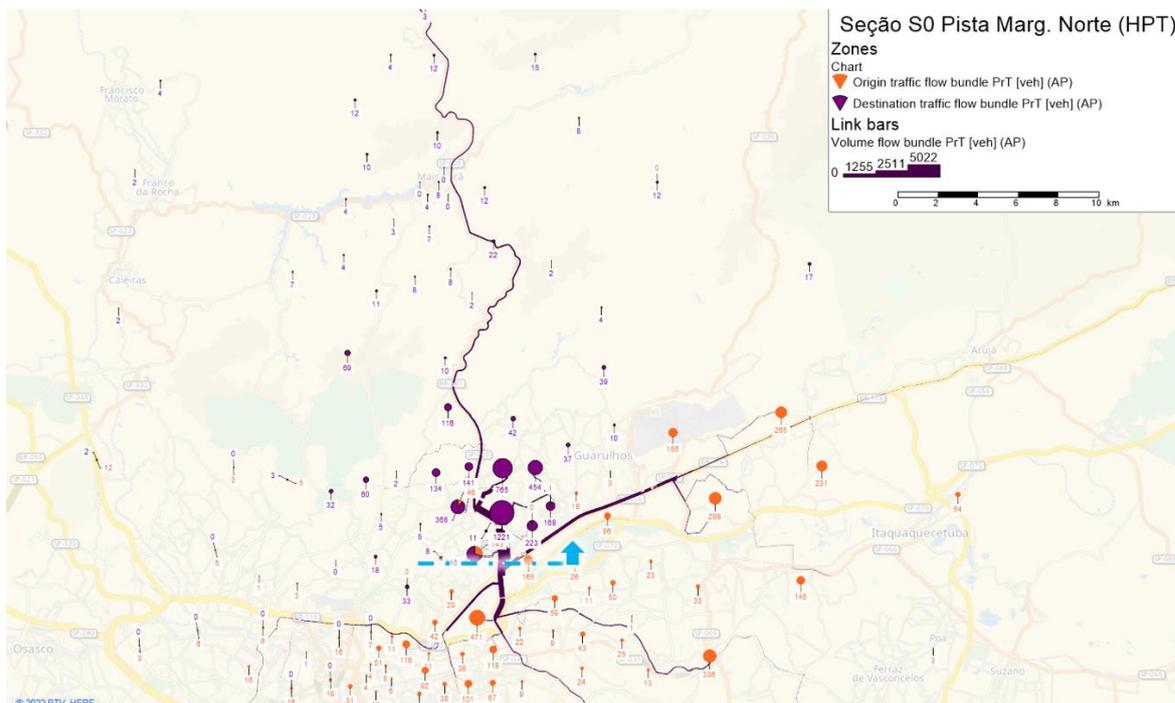


O padrão entre as pistas expressa e marginal se mantém, conforme pode ser visualizado na Figura 110 (pista expressa) e Figura 111 (pista marginal).

**Figura 110 – Carregamento na pista expressa do sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 90**



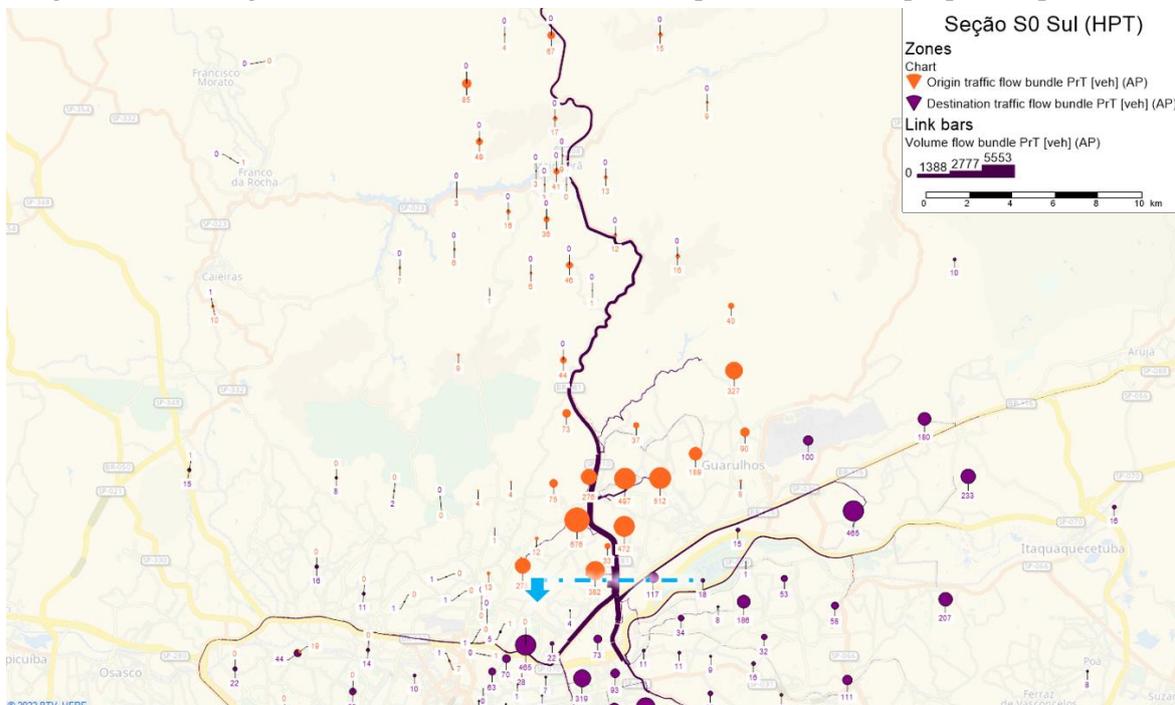
**Figura 111 – Carregamento na pista marginal do sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 90**



Elaboração LOGIT

No sentido sul, a Figura 112 mostra menos viagens do que na hora-pico manhã, evidenciando o comportamento pendular da demanda na região.

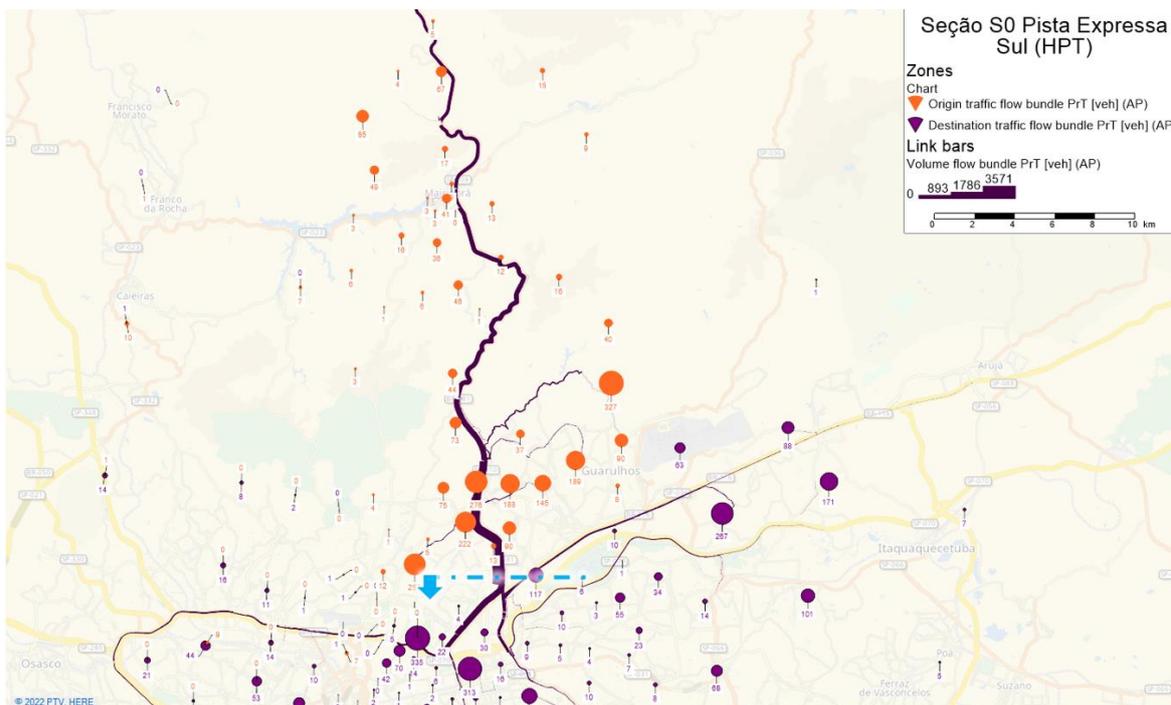
**Figura 112 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 90**



Elaboração LOGIT

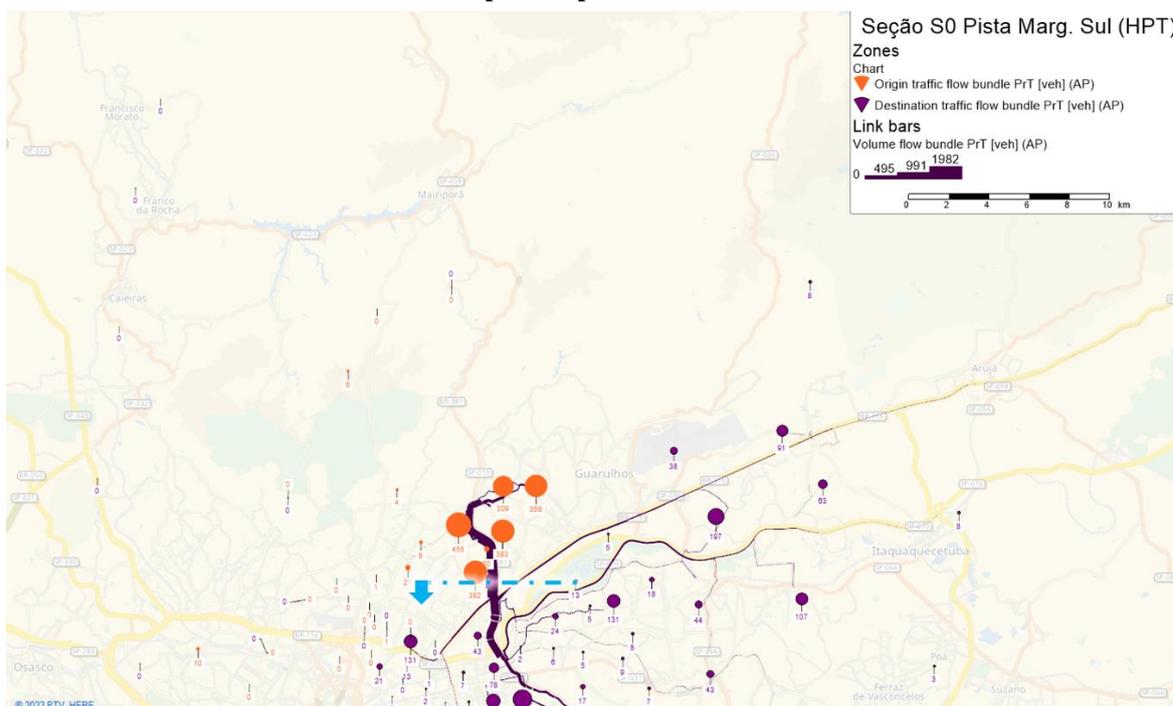
Novamente, o padrão entre as pistas expressa (Figura 113) e marginal (Figura 114) se mantém.

**Figura 113 – Carregamento na pista expressa do sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 90**



Elaboração LOGIT

**Figura 114 – Carregamento na pista marginal do sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 90**

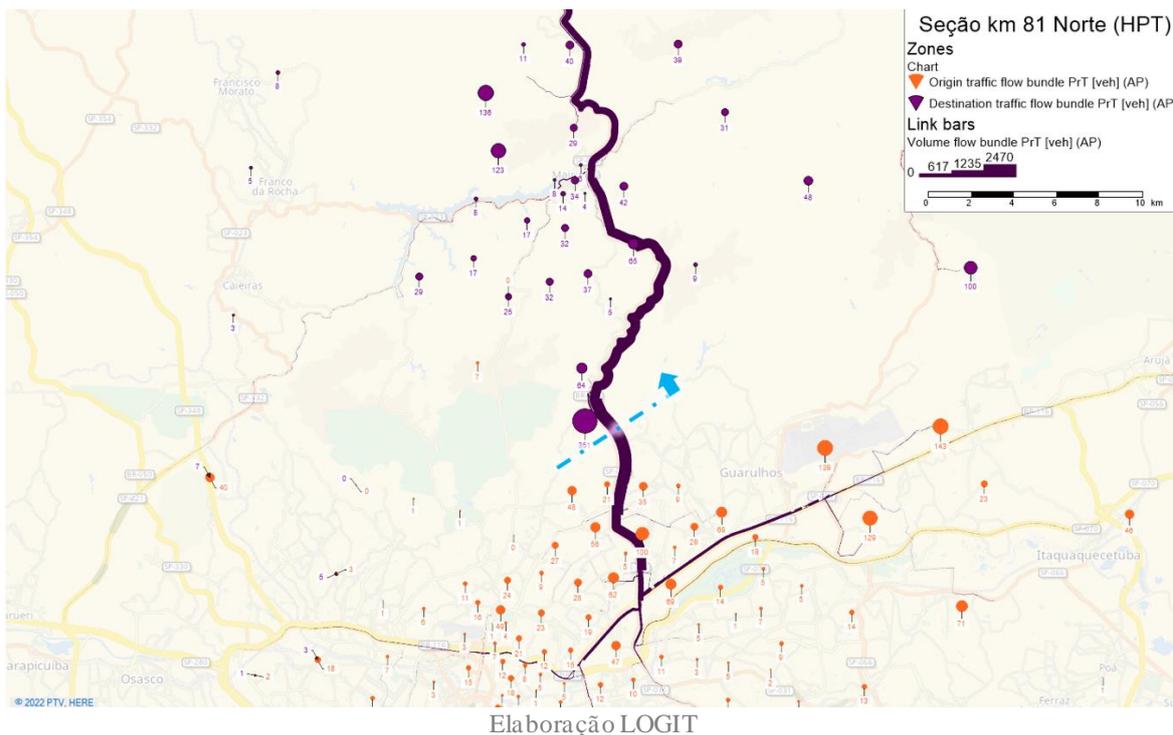


Elaboração LOGIT

#### 5.2.1.2.1.2 Marco quilômetro 81

As viagens captadas com origem em São Paulo e destino em zonas próximas a Mairiporã aumentam em relação ao pico manhã, no quilômetro 81 da rodovia, sentido norte (Figura 115).

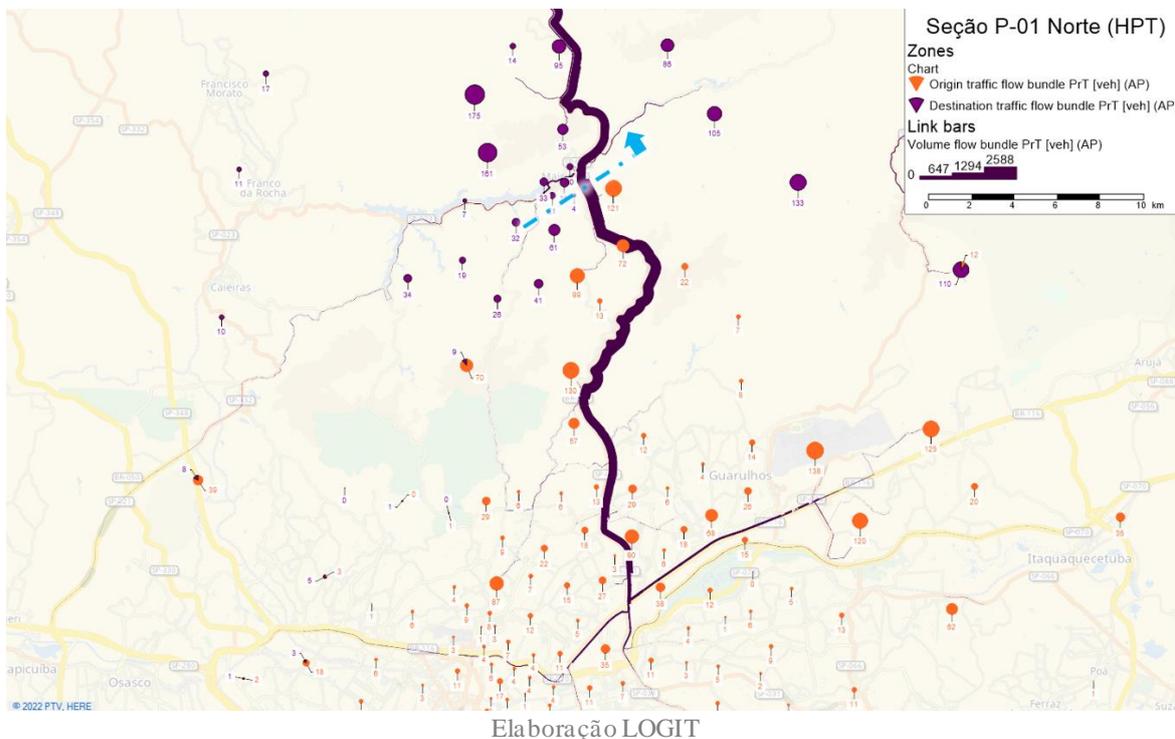
**Figura 115 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 81**



### 5.2.1.2.1.3 Marco quilômetro 65

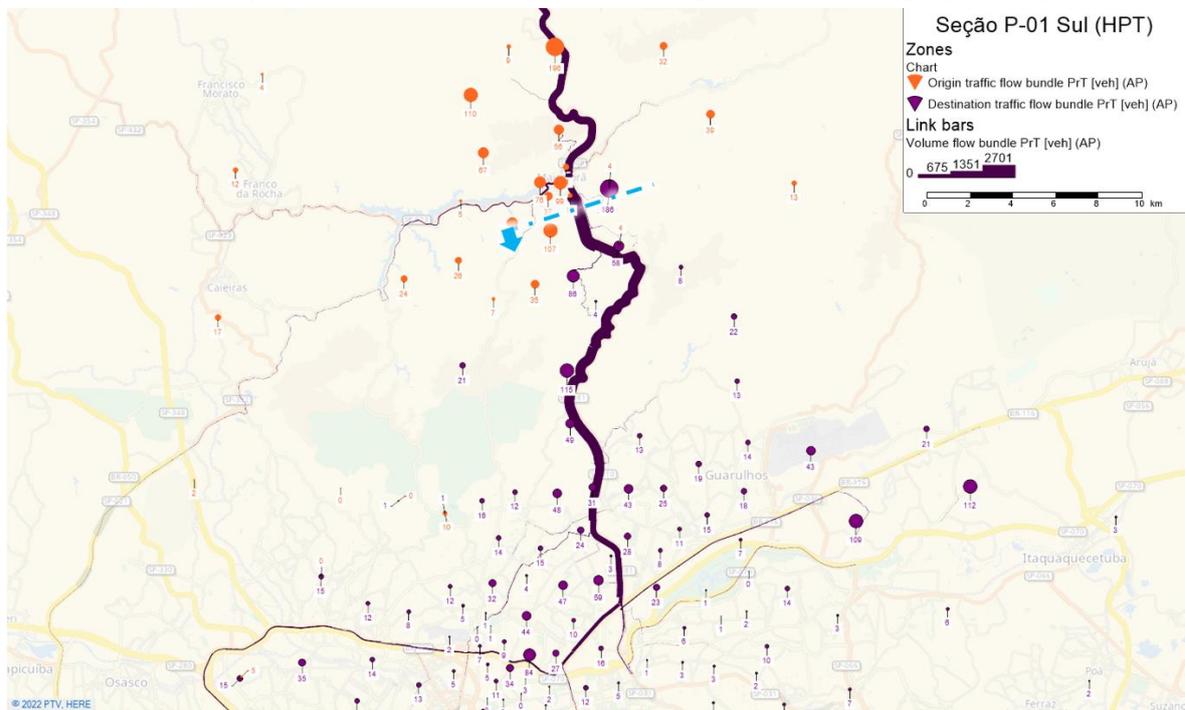
A seção da praça de pedágio P-01 sentido norte não apresenta grandes mudanças nas viagens captadas, conforme pode ser visualizado na Figura 116.

**Figura 116 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 65**



No sentido sul também não há grandes mudanças nas viagens captadas em relação ao período manhã, como mostra a Figura 117.

**Figura 117 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 65**

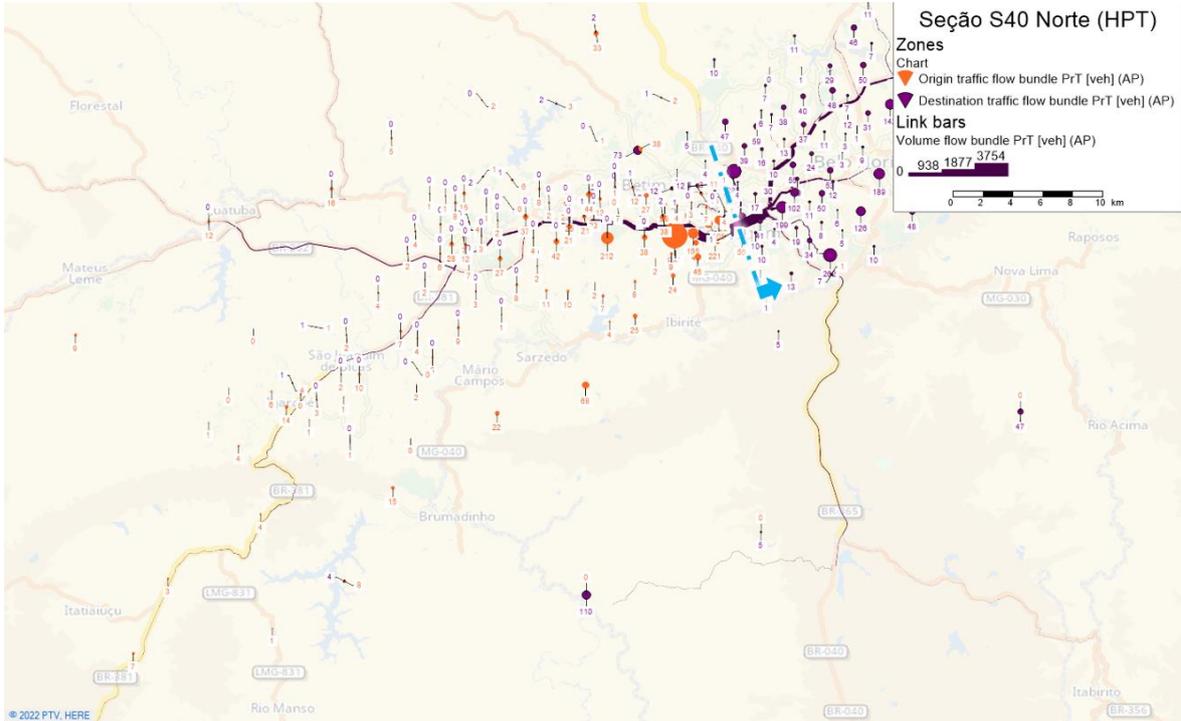


## 5.2.1.2.2 RMBH

### 5.2.1.2.2.1 Marco quilômetro 477

Na hora-pico tarde, observam-se menos viagens captadas no sentido norte (Figura 118), indicando o comportamento pendular da demanda já destacado, com menos viagens em direção à Belo Horizonte nesse período.

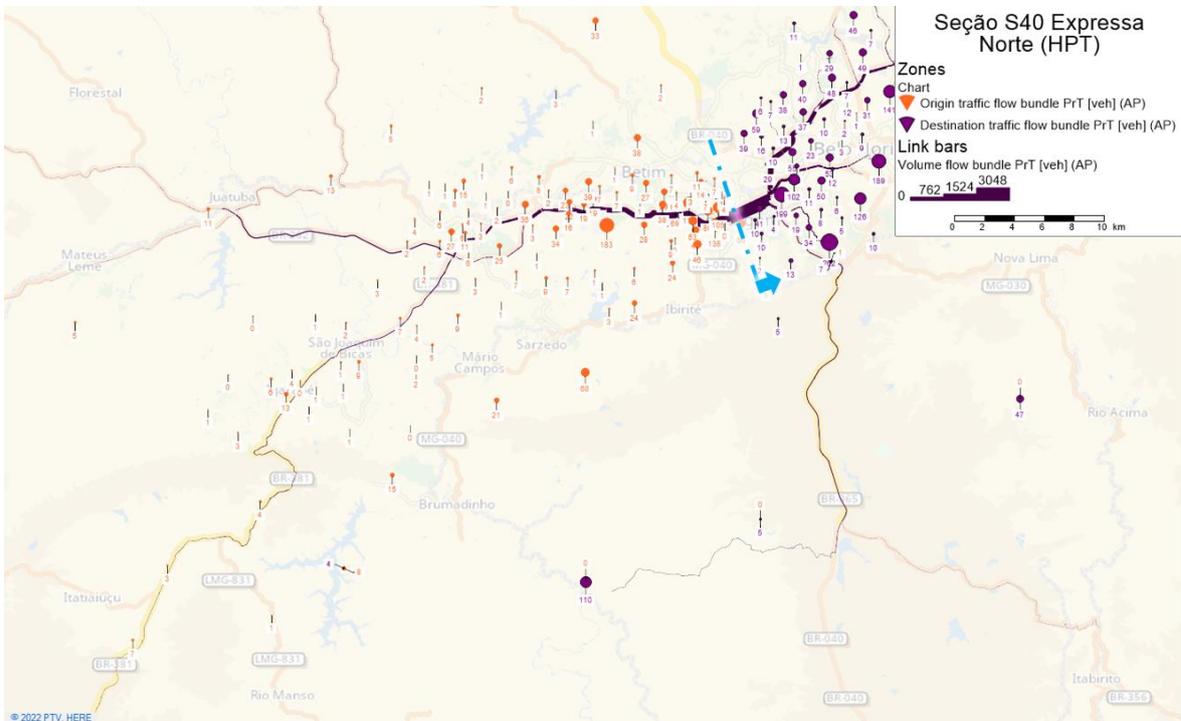
**Figura 118 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 477**



Elaboração LOGIT

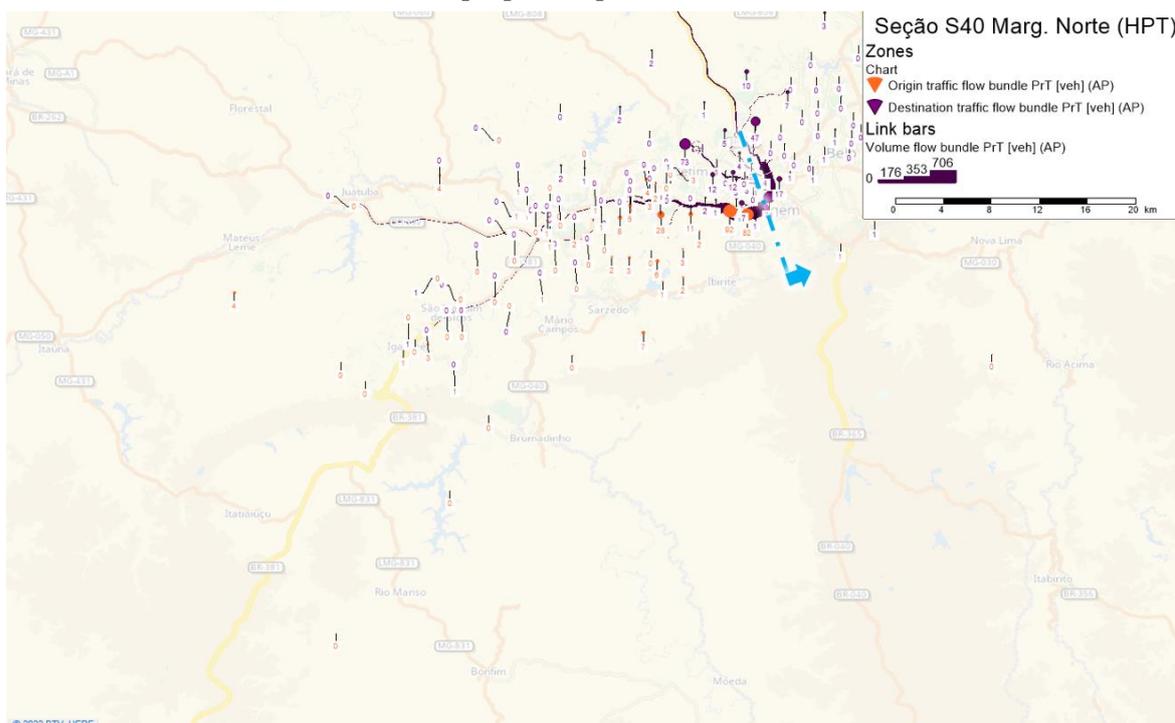
O comportamento entre a pista expressa (Figura 119) e pista marginal (Figura 120) se mantém.

**Figura 119 – Carregamento na pista expressa do sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 477**



Elaboração LOGIT

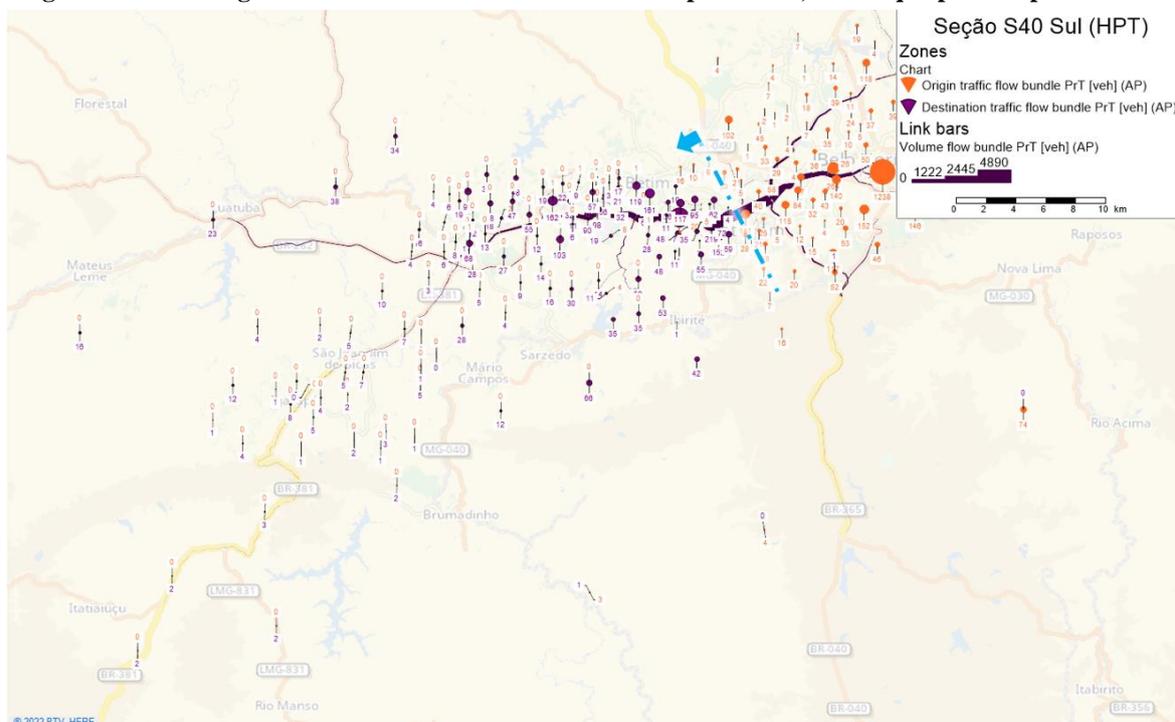
**Figura 120 – Carregamento na pista marginal do sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 477**



Elaboração LOGIT

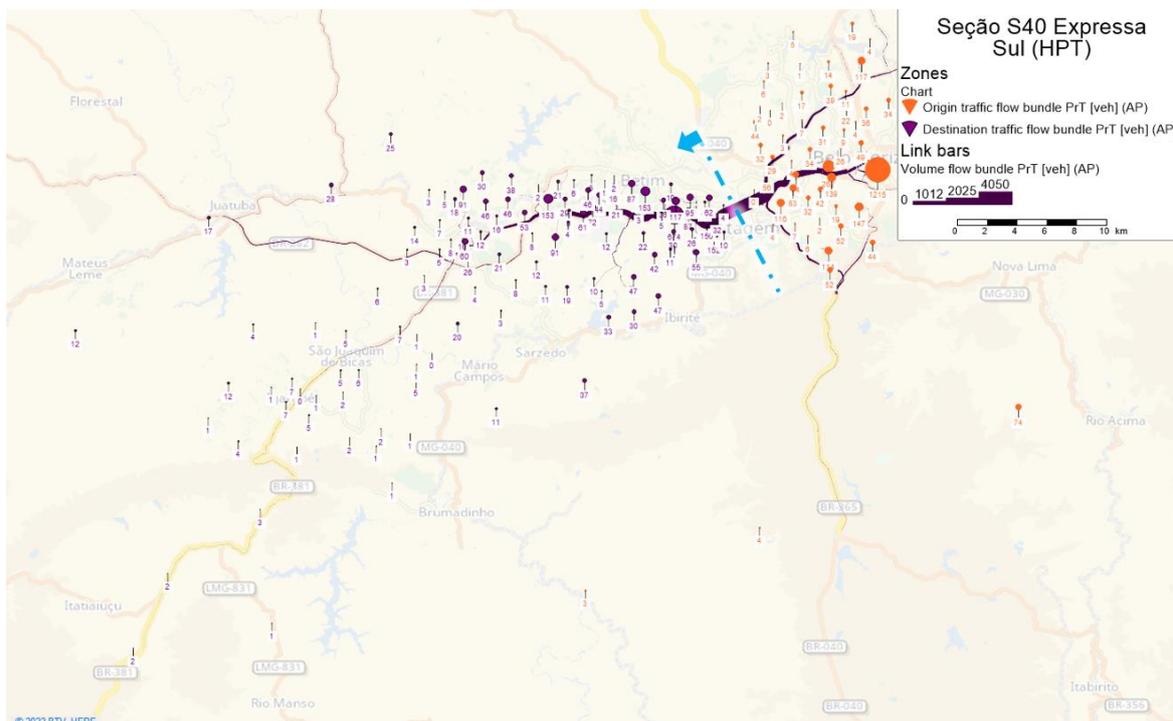
No sentido sul, as viagens captadas nesta seção têm destinos em zonas mais concentradas ao longo da rodovia, e há uma maior quantidade de viagens oriundas de Belo Horizonte, demandando a rodovia naquela região.

**Figura 121 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 477**



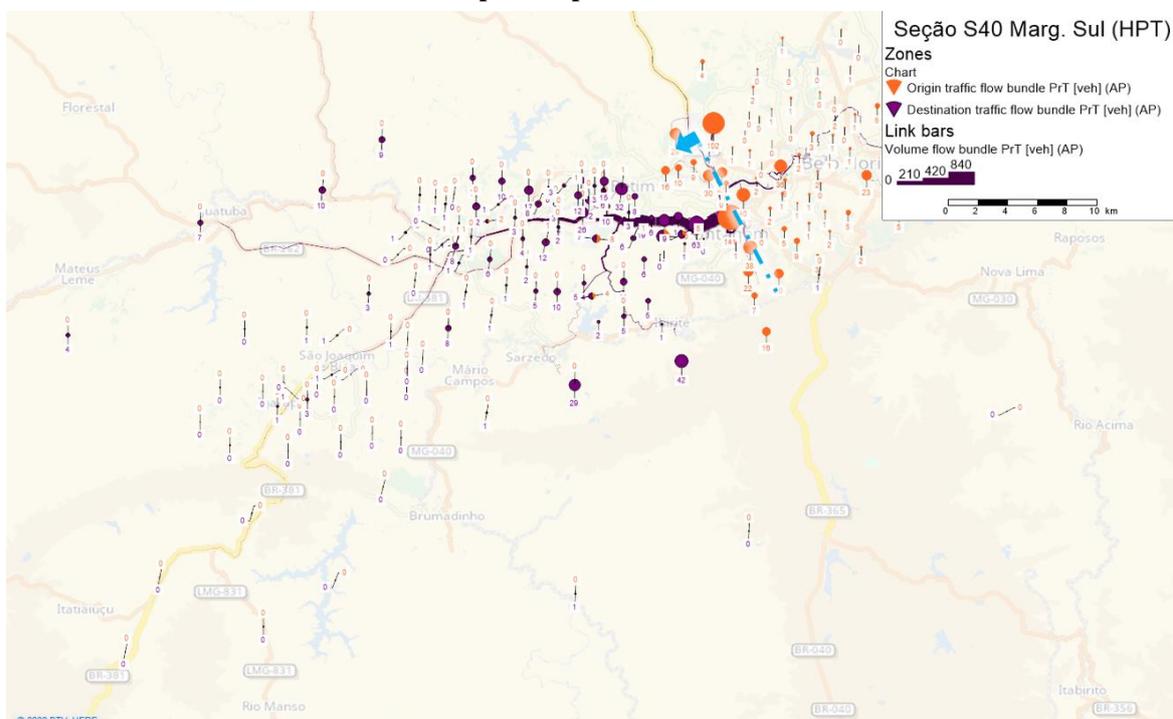
O comportamento entre a pista expressa (Figura 122) e pista marginal (Figura 123) se mantém.

**Figura 122 – Carregamento na pista expressa do sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 477**



Elaboração LOGIT

**Figura 123 – Carregamento na pista marginal do sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 477**

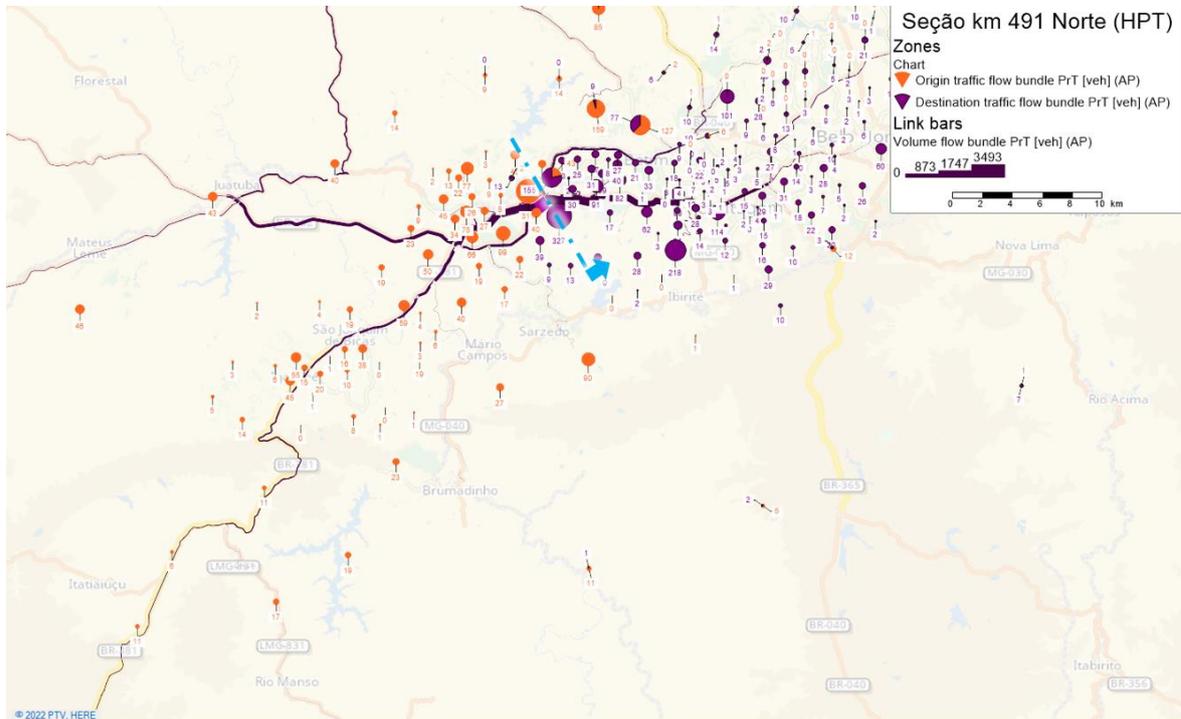


Elaboração LOGIT

### 5.2.1.2.2.2 Marco quilômetro 491

No km 491 sentido norte (Figura 124), o comportamento fica similar ao período da manhã, com ligeira diminuição das viagens captadas, e mudanças mais localizadas em zonas adjacentes à rodovia neste marco.

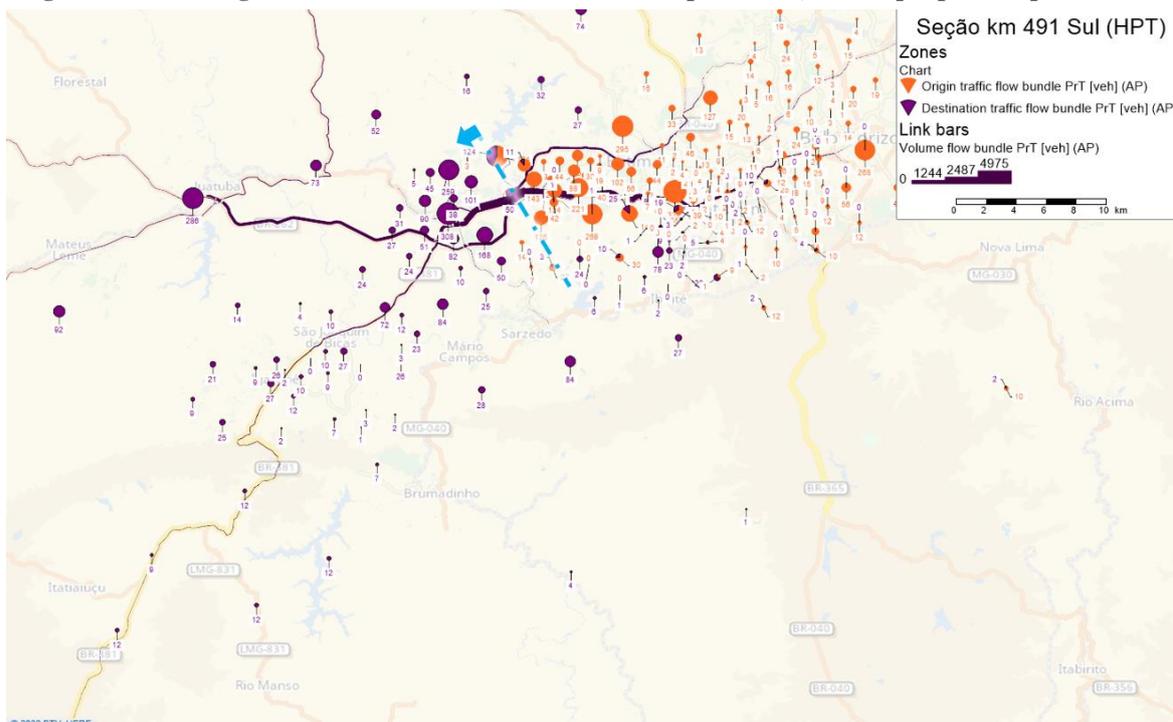
**Figura 124 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 491**



Elaboração LOGIT

No sentido sul (Figura 125), o inverso ocorre, com um ligeiro aumento de viagens captadas, indicando o comportamento pendular esperado.

Figura 125 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 491

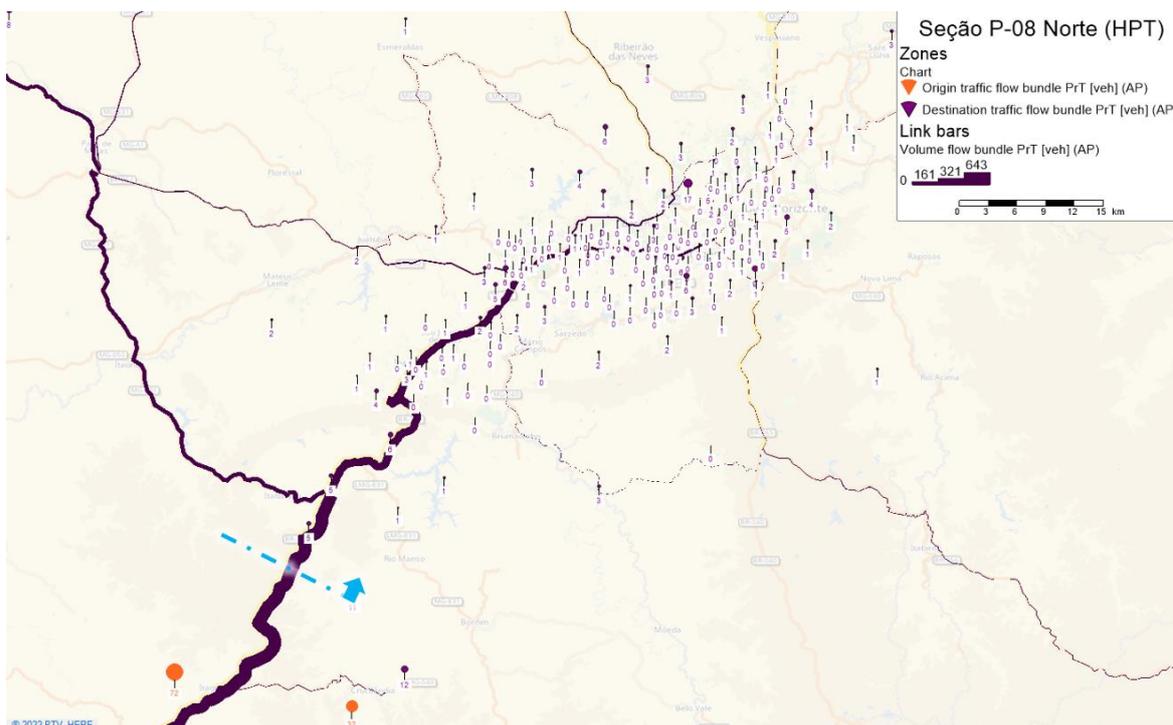


Elaboração LOGIT

### 5.2.1.2.2.3 Marco quilômetro 545

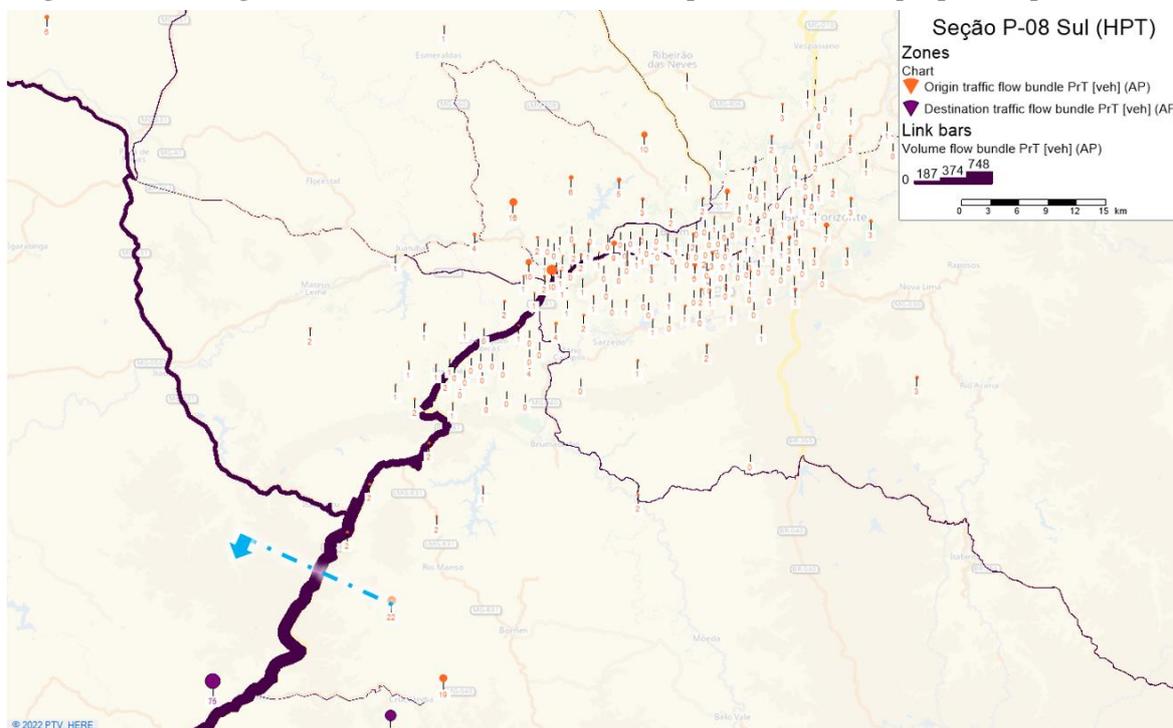
A praça de pedágio não apresenta grandes mudanças no comportamento das viagens captadas, tanto no sentido norte quanto no sentido sul (Figura 126 e Figura 127), visto que se trata de uma seção mais afastada da região metropolitana, mantendo as viagens captadas com origens e destinos mais afastados das zonas da RMBH.

**Figura 126 – Carregamento no sentido Belo Horizonte na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 545**



Elaboração LOGIT

**Figura 127 – Carregamento no sentido São Paulo na hora-pico tarde, fluxos que passam pelo km 545**



Elaboração LOGIT

### 5.2.1.3 Diagnóstico do perfil de utilização da rodovia

De acordo com as viagens captadas pelas seções S0 (km 90) e S40 (km 477), é possível observar um uso diferente da rodovia entre as regiões metropolitanas: enquanto na RMSP há uma

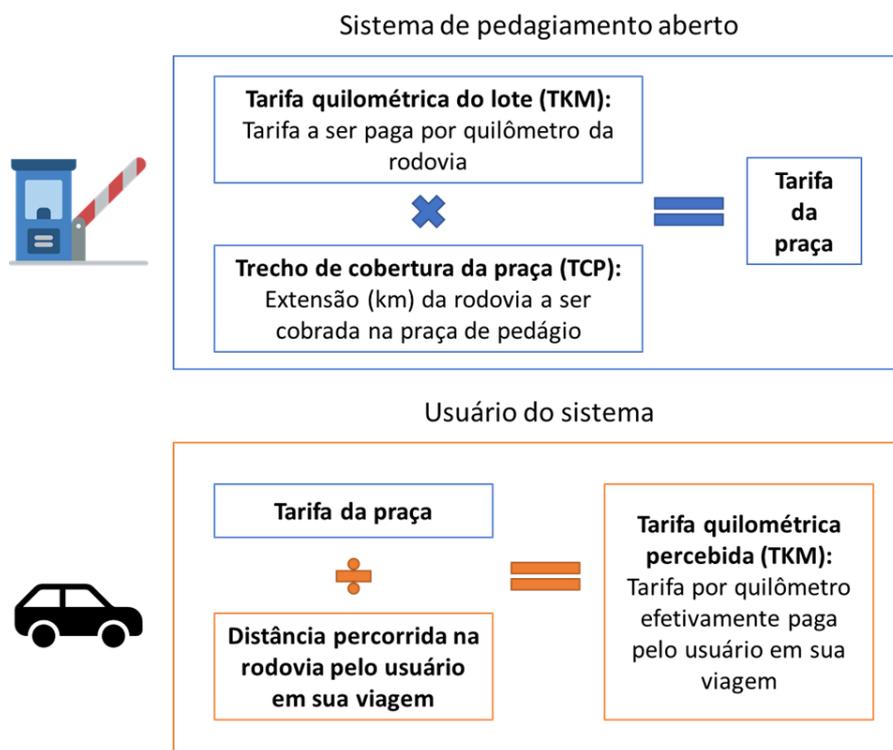
quantidade considerável de usuários atravessando a Fernão Dias, fazendo uso de vias internas para chegar a seu destino, na RMBH a grande maioria das viagens tem como destino o município de Belo Horizonte, mantendo-se na pista expressa para tal, dada a menor demanda de transposição da rodovia, e menor quantidade de alternativas paralelas.

Ainda, tem-se como premissa que as pistas marginais na RMBH operam pior do que na RMSP, intensificando a diferença entre os usos dessas pistas nas duas regiões metropolitanas.

## 5.2.2 Análise de Iniquidade

O sistema atual do trecho em estudo é de pedagiamento aberto (*barrier toll system*), com praças de pedágio em forma de barreiras físicas instaladas ao longo da rodovia para realizar a arrecadação tarifária. Dessa forma, a cobrança é discreta (i.e., realizada somente em alguns pontos da rodovia) e a tarifa a ser paga pelos usuários em suas viagens pela rodovia não é função direta da distância percorrida nela, mas sim da quantidade de praças (e seus TCPs) presentes em seu percurso, conforme ilustrado na Figura 128.

**Figura 128 – Contraste entre tarifa quilométrica nominal e efetivamente paga pelo usuário em sistemas de pedagiamento aberto**



Fonte: Elaboração LOGIT

A tarifa quilométrica paga (percebida) pelo usuário pode ser, portanto:

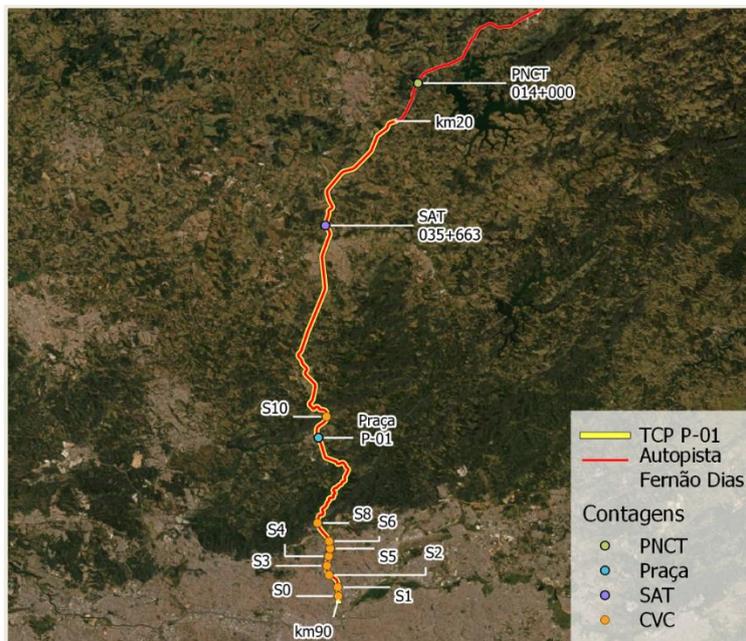
- Menor do que a tarifa quilométrica do lote (usuário subsidiado);
- Igual a tarifa quilométrica do lote;
- Maior do que a tarifa quilométrica do lote (usuário subsidiando).

O traçado da Autopista Fernão Dias interliga duas das maiores regiões metropolitanas do país, permeando uma densa ocupação urbana em ambas as extremidades do trecho concedido. Em concessões rodoviárias que alcançam grandes manchas urbanas, é usual observar um contexto de

elevada iniquidade tarifária, juntamente de um desequilíbrio entre investimentos e arrecadação associados a esses trechos. Assim, um dos focos do presente projeto é analisar a iniquidade nas praças P-08 e P-01 – as praças da AFD mais próximas de RMBH e RMSP, respectivamente – permitindo uma avaliação preliminar quanto à implementação de um sistema *free-flow* nas RMs, com potencial de se autofinanciar, deixando alguma margem para arcar com evasão parcial e investimentos adicionais.

É importante notar na Figura 129 e na Figura 130 como os contextos em cada uma das extremidades do trecho sob concessão apresentam tanto similaridades – com volumes nas chegadas às capitais algumas vezes superiores aos volumes do outro extremo dos respectivos TCPs das praças – quanto distinções entre si, com a P-08 (RMBH) consideravelmente mais afastada da zona urbanizada do que a P-01 (RMSP), além de abranger, na extremidade de seu TCP, uma maior extensão de travessia urbana, fazendo com que incida uma maior iniquidade no entorno da P-08 (RMBH), comparativamente à P-01 (RMSP), em termos globais. Assim, cabe uma análise individualizada ao caso de cada RM.

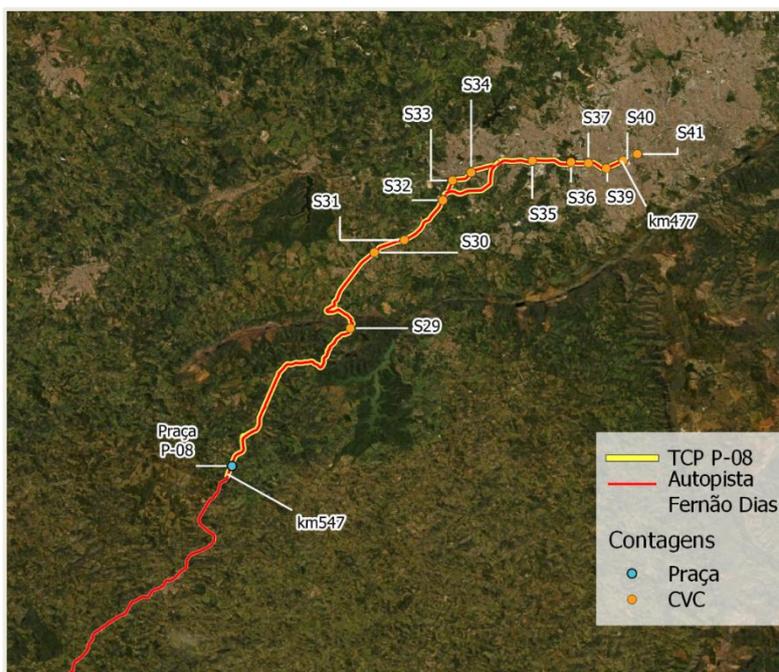
**Figura 129 – Trecho de cobertura da praça de pedágio (TCP) P-01 na RMSP<sup>37</sup>**



Fonte: Elaboração LOGIT

<sup>37</sup> Quilometragens com base nos marcos quilométricos

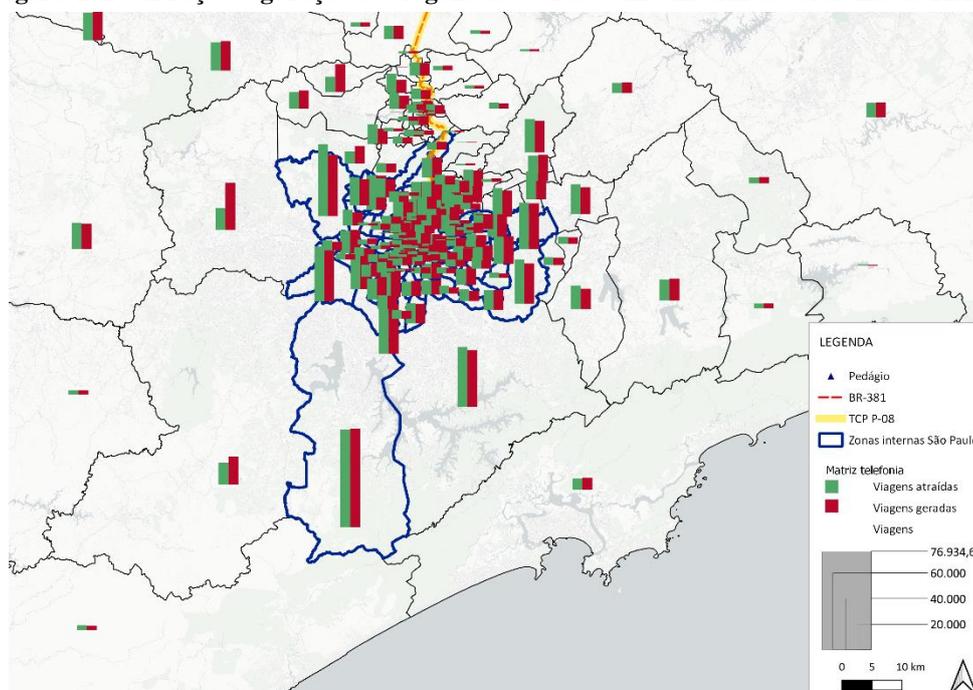
**Figura 130 – Trecho de cobertura da praça de pedágio (TCP) P-08 na RMBH<sup>38</sup>**



Fonte: Elaboração LOGIT

Os dados de telefonia móvel (item 4.1.3) permitiram a obtenção de matrizes origem-destino em que foram amostradas 1.766.469 viagens na RMBH (20% de veículos comerciais) e 2.026.850 viagens na RMSP (10% de veículos comerciais) ao longo dos 31 dias de análise, conforme pode ser visualizado na Figura 131 (RMSP) e Figura 132 (RMBH).

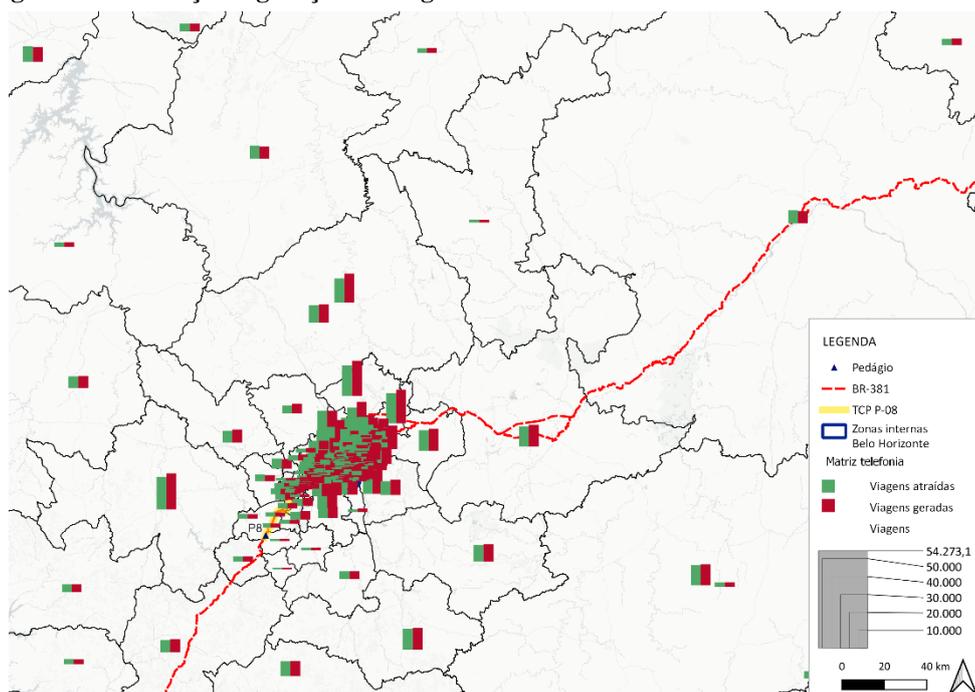
**Figura 131 – Atração e geração de viagens de acordo com a matriz de telefonia da RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

<sup>38</sup> Quilometragens com base nos marcos quilométricos

**Figura 132 – Atração e geração de viagens de acordo com a matriz de telefonia da RMBH**



Fonte: Elaboração LOGIT

Com os resultados do modelo de macrossimulação (utilizando as matrizes diárias resultantes do processamento dos dados de telefonia), é possível estimar quantos usuários utilizam o trecho de concessão, passam pela praça de pedágio e a proporção destes que se enquadram em diferentes classes de desvio tarifário (i.e., o desvio entre a TKM nominal do lote e a TKM efetivamente paga pelo usuário em sua viagem).

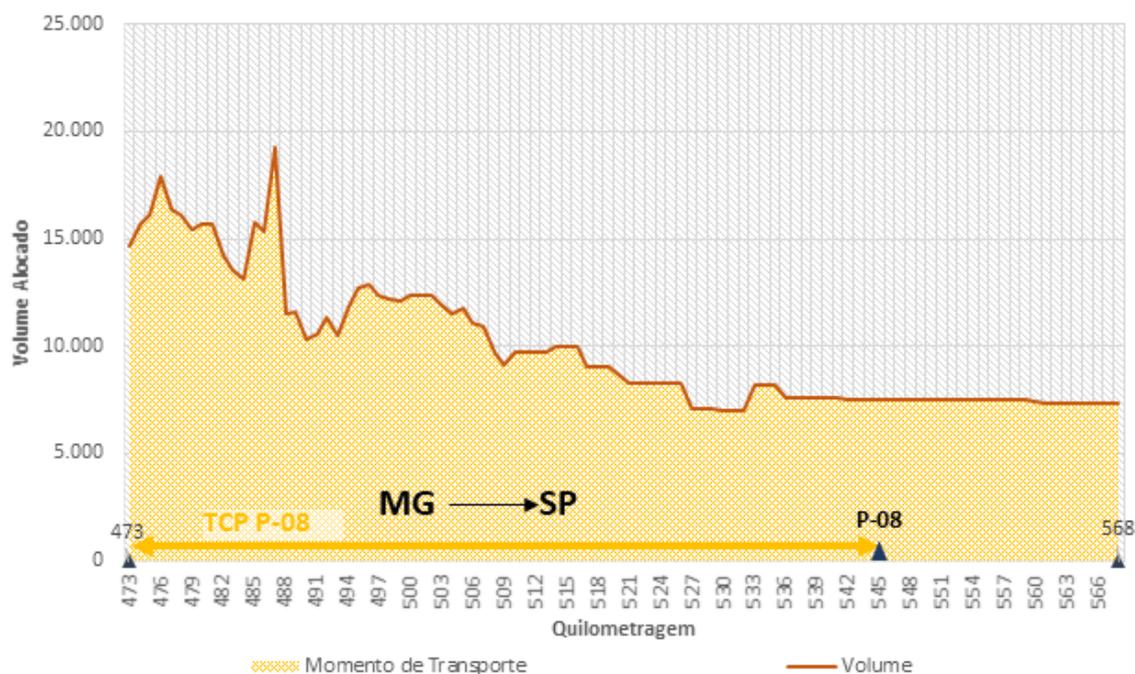
### 5.2.2.1 RMBH

A análise global dos deslocamentos diários na RMBH indicou uma iniquidade superior a 1 para os veículos comerciais, com o tráfego médio ao longo do TCP da praça P-08 correspondente a cerca de 1,5 vezes o tráfego captado na praça:

$$I_{global\ comercial,RMBH} = \frac{MT_{real}}{MT_{captado}} = \frac{3.184.125}{2.112.211} = 1,51 \gg 1 \text{ (razoável iniquidade)}$$

Onde  $MT$  se refere ao Momento de Transporte (*veículos · km*).

Figura 133 – Perfil volumétrico de veículos comerciais ao longo do trecho da TCP do P-08 (RMBH)<sup>39</sup>



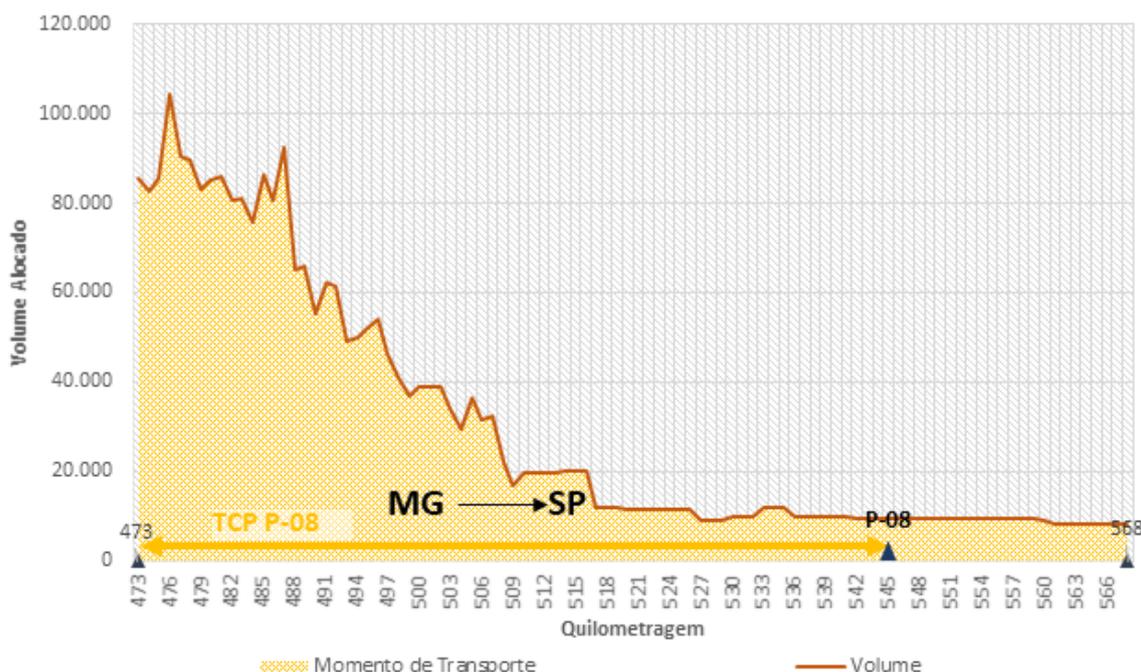
Fonte: Elaboração LOGIT

Veículos comerciais normalmente realizam trajetos de maior distância, implicando uma tendência de maior equidade, em termos globais. Por este motivo, para os veículos de passeio – que normalmente realizam trajetos de menor distância, muitas vezes começando e terminando antes de chegar à praça – a iniquidade se mostra ainda mais elevada, próxima a 4:

$$I_{global\ de\ passeio, RMBH} = \frac{MT_{real}}{MT_{captado}} = \frac{2.606.668}{660.660} = 3,95 \gg 1 \text{ (elevada iniquidade)}$$

<sup>39</sup> Valores das quilometragens com base no SNV

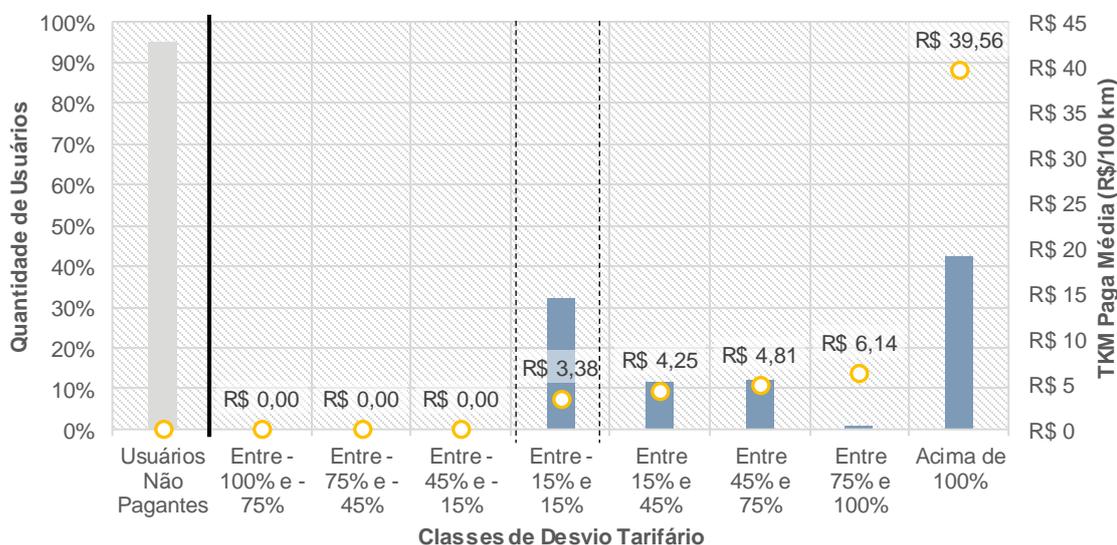
**Figura 134 – Perfil volumétrico de veículos de passeio ao longo do trecho da TCP do P-08 (RMBH)<sup>40</sup>**



Fonte: Elaboração LOGIT

Do ponto de vista dos usuários, observa-se na Figura 135 que 95% dos usuários que trafegam na rodovia no TCP da P-08 não passam pelo pedágio, e apenas 32% dos pagantes ficam na faixa de “desvio nulo” em relação à TKM da concessão.

**Figura 135 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08<sup>41</sup>**



Fonte: Elaboração LOGIT

A grande quantidade de veículos não pagantes pode ser justificada pelo alto número de veículos de passeio que realizam viagens curtas na RMBH, sem chegar a passar pelo pedágio. Porém,

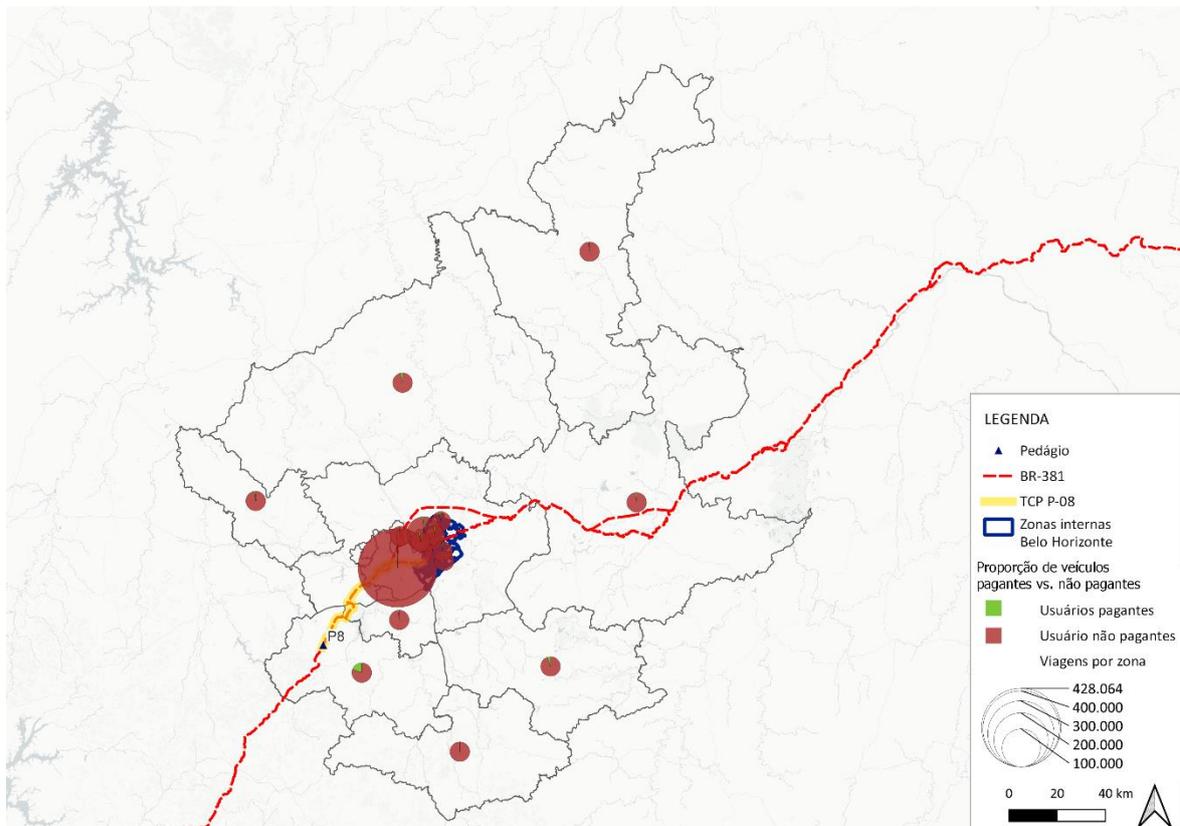
<sup>40</sup> Valores das quilometragens com base no SNV

<sup>41</sup> As porcentagens somam 100% nas barras em azul (representando o universo de usuários pagantes), ao passo que a barra cinza representa a proporção de usuários não-pagantes em relação ao total de usuários do trecho de cobertura da praça P-08.

no outro extremo, é notável a grande proporção dos veículos pagantes que paga um valor médio de mais de 10x a TKM da concessão, realizando viagens curtas no trecho da praça. A proporção de usuários não pagantes mostra o potencial de ação com a implementação de um sistema de pedagiamento *free-flow*.

Espacialmente, olhando para viagens com origem e/ou destino dentro da RMBH, observa-se como a maior quantidade de viagens ocorre no município de Belo Horizonte, com proporções de usuários não pagantes muito maiores do que pagantes. Apenas na macrozona de Itaguara, onde se localiza a praça de pedágio P-08, é possível observar uma maior proporção de viagens de usuários pagantes. Ainda, em todas as macrozonas da RMBH a proporção de não-pagantes é dominante, reforçando o potencial de aumento da base pedagiada.

**Figura 136 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens analisadas da RMBH**



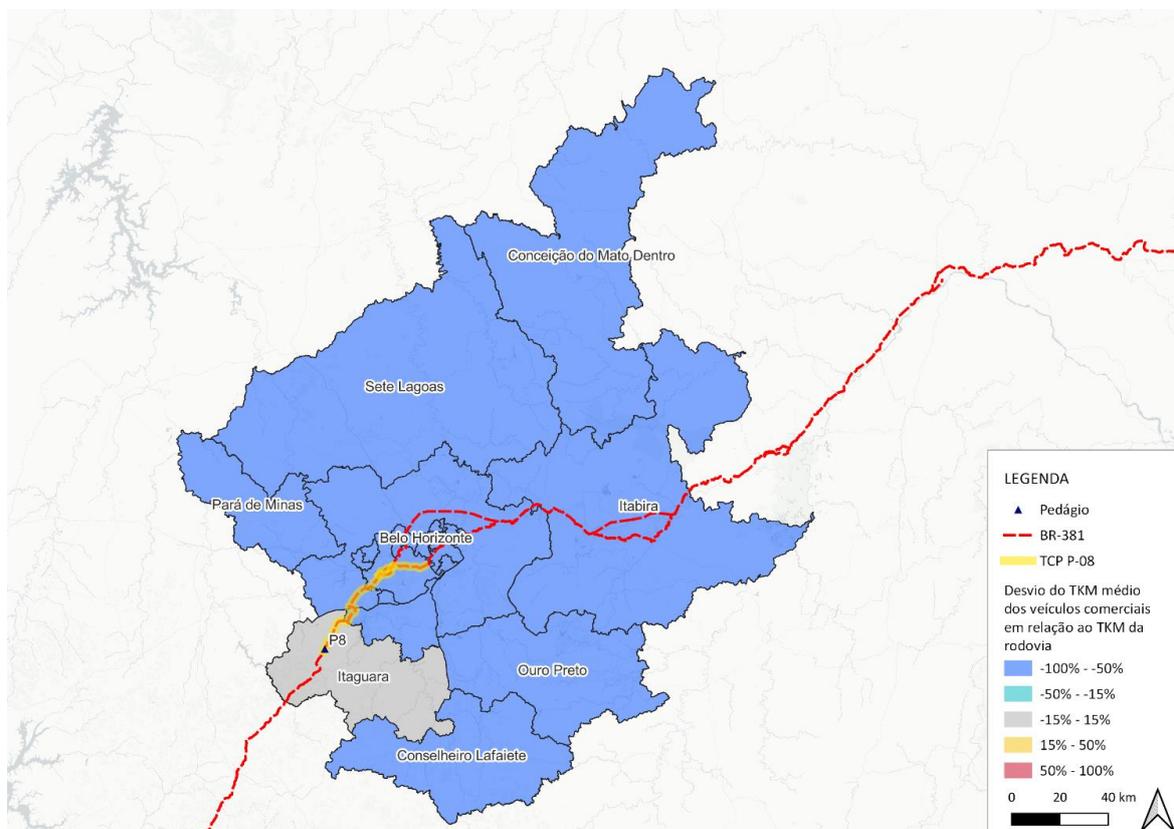
Quanto ao desvio da TKM (Figura 137 e Figura 138), a análise espacial permite observar como as viagens de veículos comerciais e de passeio na grande parte da RMBH são de usuários não pagantes, que, portanto, resultam em TKM médios abaixo da TKM da concessão.

Apenas na macrozona de Itaguara, onde se localiza a praça de pedágio P-08, a TKM média fica mais próxima da TKM real da concessão, ficando na faixa de desvio de -15 a 15% para os veículos comerciais e muito acima da TKM da concessão para os veículos de passeio – influência da maior quantidade de viagens curtas dessa categoria.

Em Itaguara, município a Sul da Praça de Pedágio P-08, para os veículos comerciais há um equilíbrio entre usuários não-pagantes e usuários pagando tarifas médias superiores ao que deveriam em um sistema *free-flow*. Já para os veículos de passeio, embora a proporção de não-pagantes seja

de cerca de 80% , a TKM média paga supera a TKM da concessão em função da alta distorção da tarifa incidente sobre os pagantes.

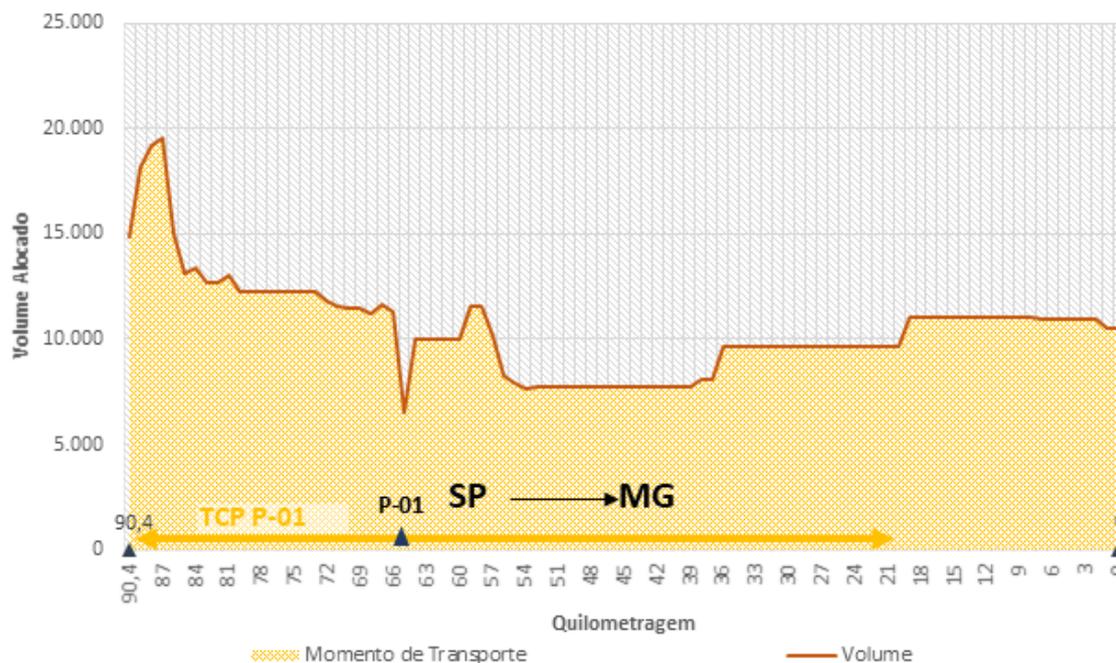
**Figura 137 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH**



Fonte: Elaboração LOGIT



Figura 139 – Perfil volumétrico de veículos comerciais ao longo do trecho da TCP do P-01 (RMSP)<sup>42</sup>



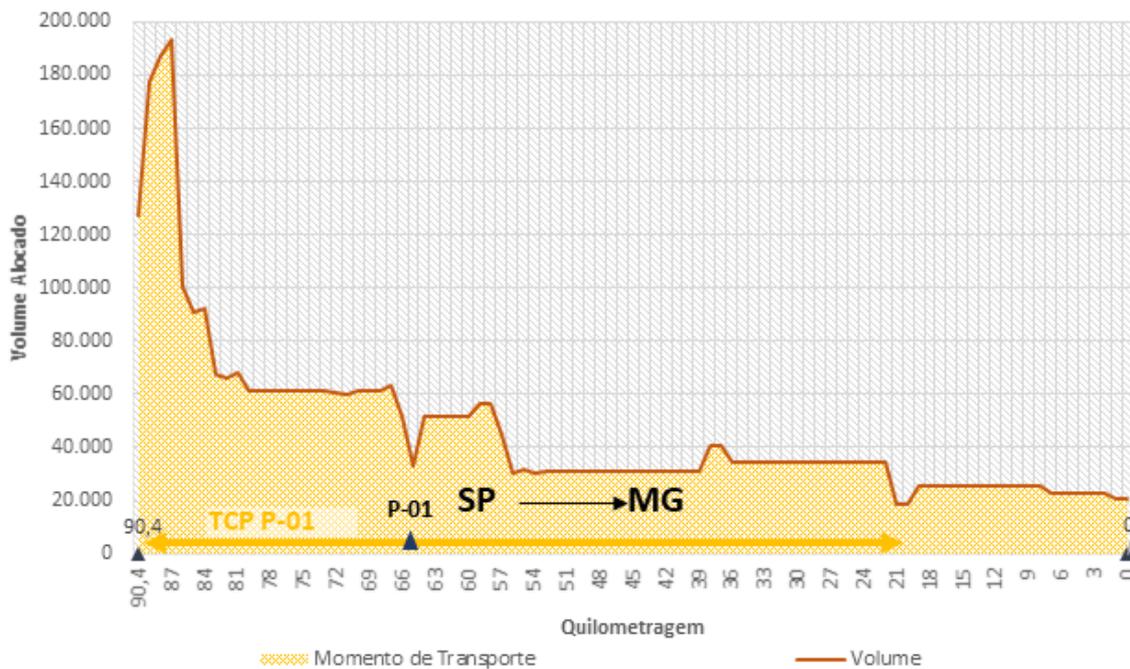
Para os veículos de passeio, o comportamento é similar, com baixa iniquidade observada para veículos de passeio na P-01 (RMSP):

$$I_{global\ de\ passeio, RMSP} = \frac{MT_{real}}{MT_{captado}} = \frac{3.563.836}{3.635.308} = 0,98 \approx 1 \text{ (razoável equidade)}$$

Apesar da relativa equidade observada a nível de sistema de cobrança, nota-se grande iniquidade entre os usuários, dado o alto tráfego na região urbana (km 80 a 90), que pode ser visualizado na Figura 140.

<sup>42</sup> Valores das quilometragens com base no SNV

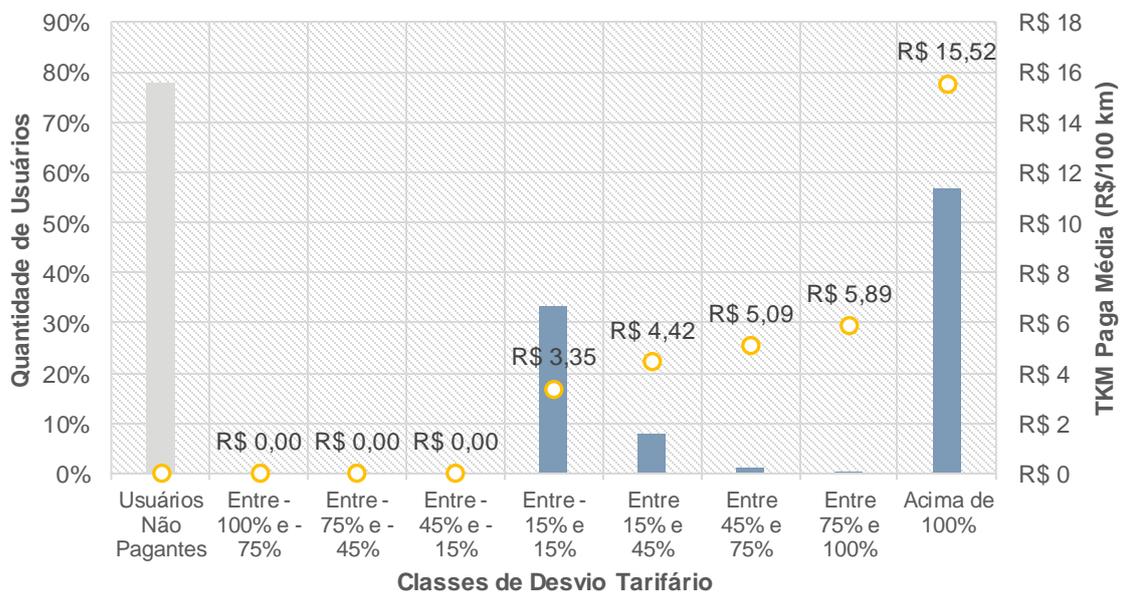
**Figura 140 – Perfil volumétrico de veículos de passeio ao longo do trecho da TCP do P-01 (RMSP)<sup>43</sup>**



Fonte: Elaboração LOGIT

Do ponto de vista dos usuários, a Figura 141 indica a existência de uma alta proporção de usuários não pagantes, destacando-se na distribuição dois casos extremos: usuários não-pagantes e usuários pagando tarifas quilométricas superiores ao dobro da TKM da concessão.

**Figura 141 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08<sup>44</sup>**



Fonte: Elaboração LOGIT

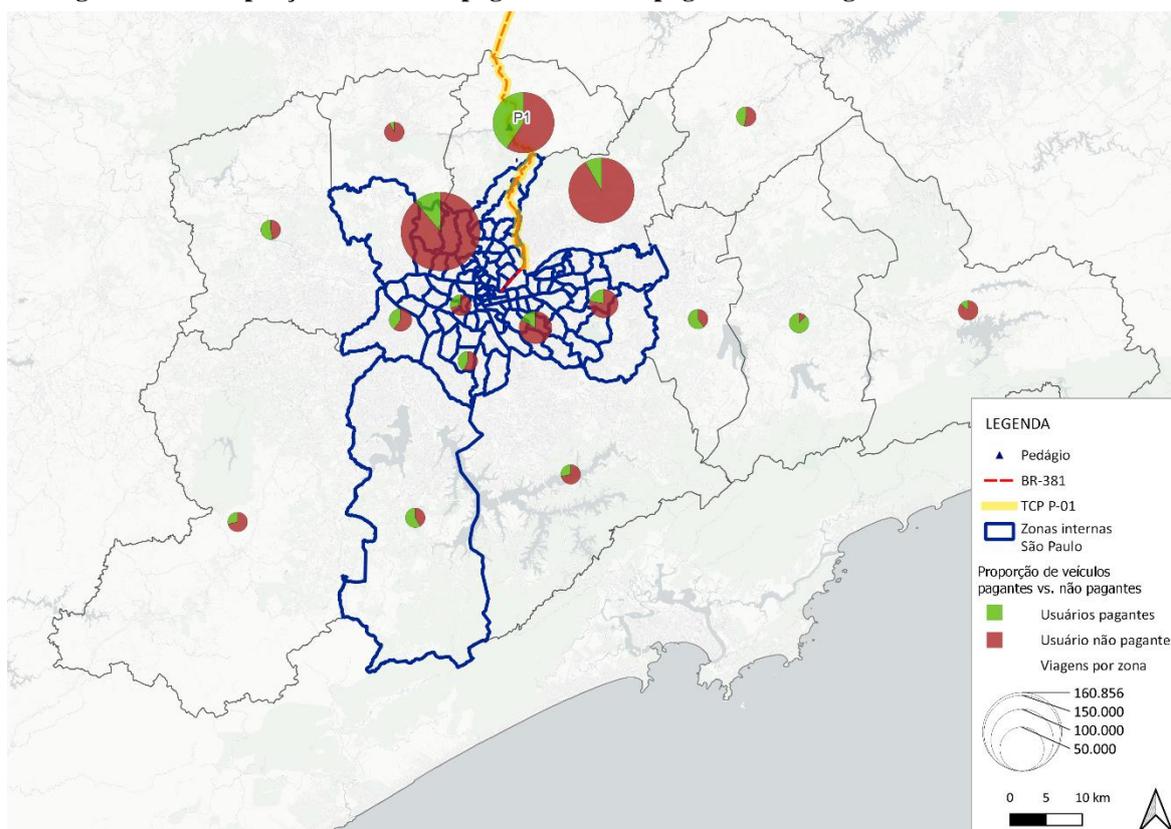
<sup>43</sup> Valores das quilometragens com base no SNV

<sup>44</sup> As porcentagens somam 100% nas barras em azul (representando o universo de usuários pagantes), ao passo que a barra cinza representa a proporção de usuários não-pagantes em relação ao total de usuários do trecho de cobertura da P-01.

Apenas cerca de 1/3 dos usuários pagantes pagam um valor próximo à TKM da concessão. O outro extremo se mostra ainda maior do que no caso da RMBH: 57% dos usuários pagantes com TKM médias maiores do que 100% da TKM da concessão – embora a tarifa média paga por esses usuários seja metade da paga em BH na mesma classe de desvio.

Espacialmente, observa-se a maior quantidade de viagens que passam pela concessão em macrozonas mais ao norte, que têm a Fernão Dias como um caminho mais viável. Ainda, na maioria das macrozonas da RMSP observa-se a maior proporção de viagens de usuários não pagantes, porém em menor grau do que na RMBH. A proporção de não-pagantes também é dominante na maioria das macrozonas da RMSP, reforçando o potencial de aumento da base pedagiada.

**Figura 142 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens analisadas da RMBH**

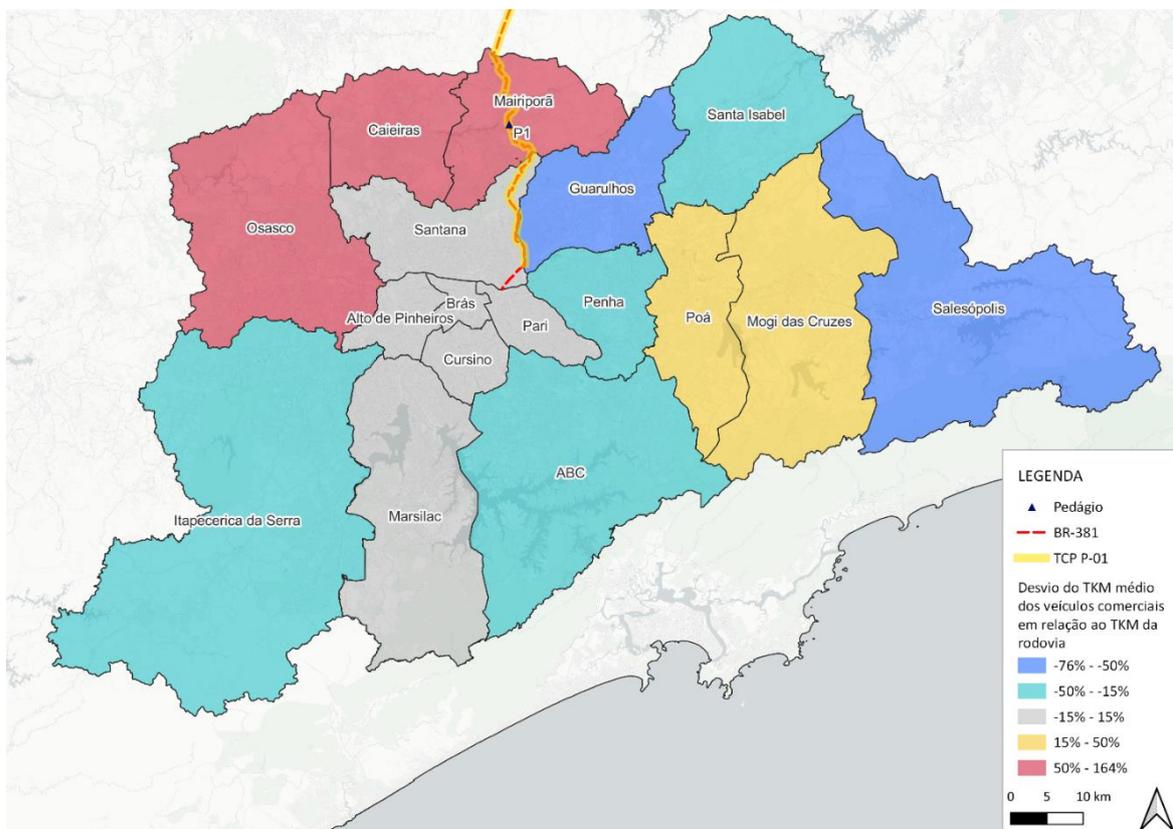


Fonte: Elaboração LOGIT

A distribuição dos desvios do TKM médios em relação à TKM da concessão na RMSP é mais diversificada do que na RMBH, além de haver uma maior quantidade de macrozonas com viagens de TKM similar da concessão. No entanto, apesar da incidência de razoável equidade global, nota-se uma elevada heterogeneidade nas tarifas médias efetivamente incidentes, indicando iniquidade entre usuários.

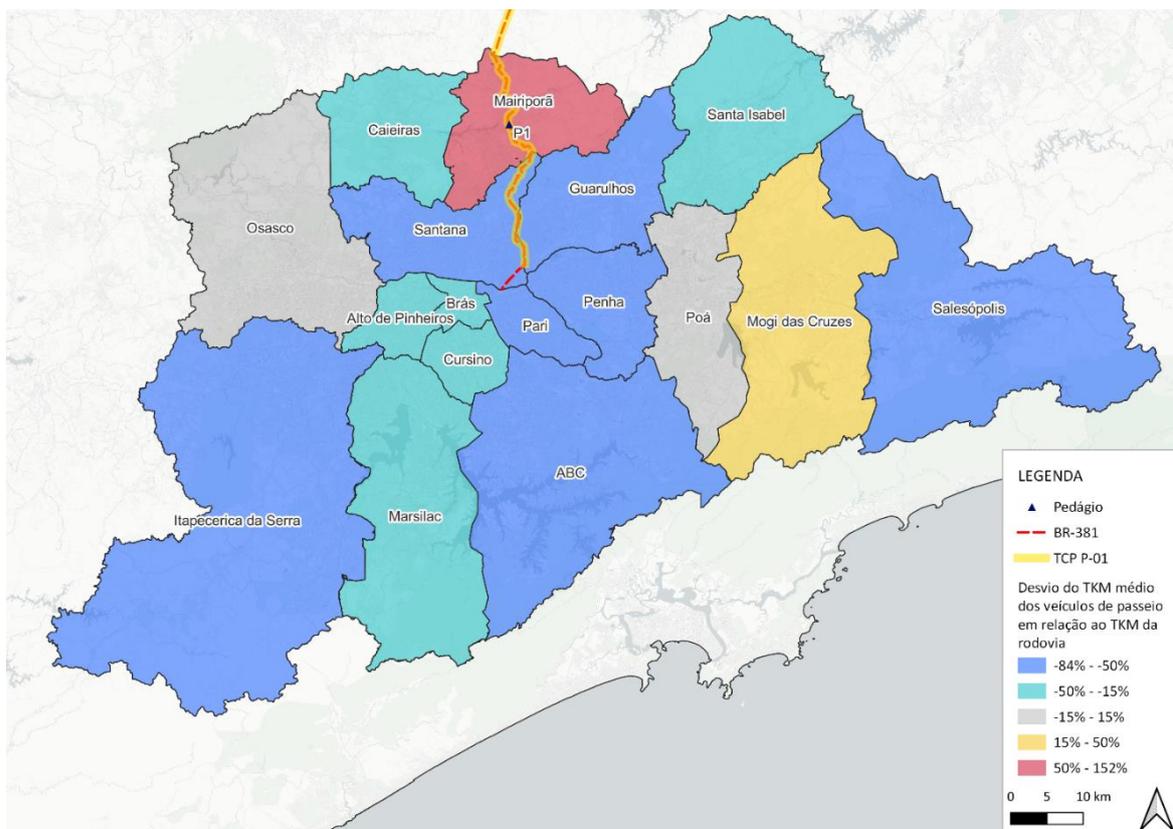
Os usuários comerciais com origem/destino no município de Guarulhos destacam-se como sujeito às menores TKMs, apesar de representarem uma parcela elevada dos usuários da AFD. As TKMs médias das viagens de veículos de passeio apresentam comportamento similar às dos veículos comerciais, porém com maior incidência de desvios menores em relação à TKM da concessão, devido à maior quantidade de viagens curtas nessa categoria. Em ambos os segmentos de demanda (Passeio e Cargas), o município de Mairiporã mostra-se o mais afetado negativamente, em termos de iniquidade.

**Figura 143 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 144 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

## **6 ETAPA 4: ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA *FREE-FLOW* NA FERNÃO DIAS**

As informações sumarizadas no Capítulo 4.3.6 trouxeram elucidações acerca dos padrões atuais de uso da rodovia, descrevendo as principais distinções em seu uso nos períodos de pico e ilustrando a distribuição do tráfego entre as pistas expressa e marginal. A partir disto, foram elaboradas e detalhadas intervenções físicas e operacionais para o sistema rodoviário da Rod. Fernão Dias na RMSP e na RMBH, visando alcançar melhorias no nível de serviço e promover um melhor uso da infraestrutura disponível.

No presente estudo, serão explorados três diferentes cenários de cobrança, de modo a fornecer subsídios quantitativos e qualitativos para a análise crítica das alternativas: Cenário A (Sistema complementar); Cenário B (Sistema híbrido); e Cenário C (Substituição tecnológica total). Cada um será mais bem descrito no item 6.2, após a definição das obras de infraestrutura consideradas nos cenários futuros.

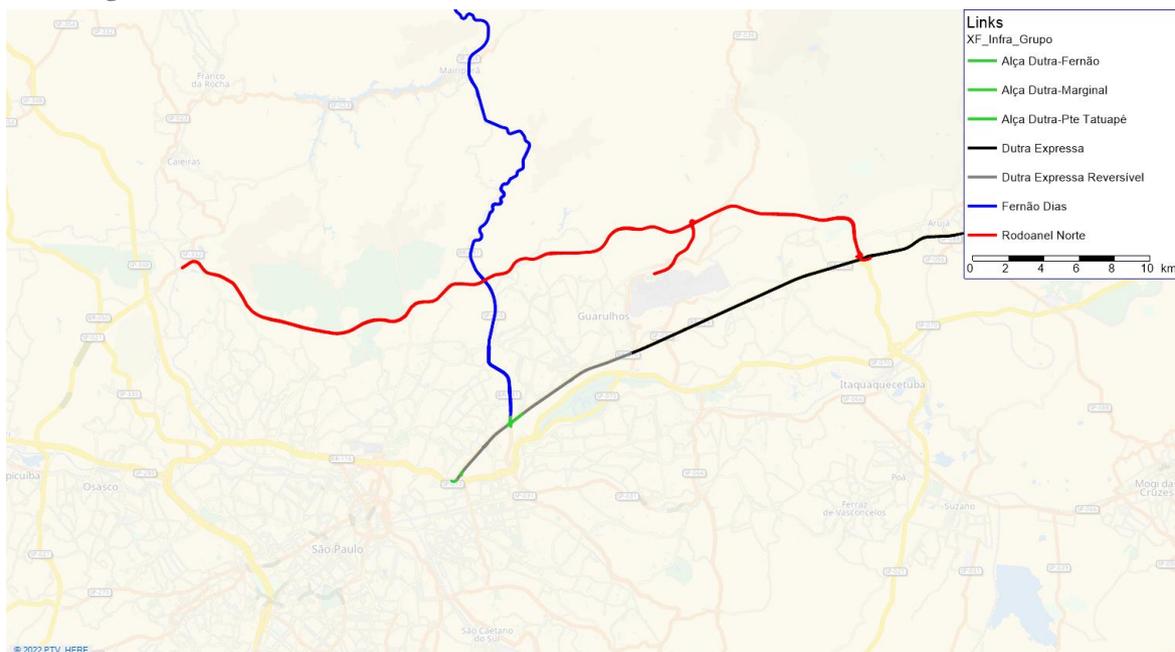
Dentro de cada subitem dos cenários considerados, são apresentados resultados preliminares, sem considerar a execução de obras de infraestrutura, com relação à iniquidade e ao carregamento da rede.

### **6.1 Obras de Infraestrutura**

Na RMSP, foram consideradas as obras de interconectividade da Dutra com a RMSP previstas no novo contrato de concessão da rodovia, com: a reorganização dos acessos da pista expressa à Marginal Tietê e acesso direto entre pista expressa e Ponte Tatuapé (1); e o complexo viário com acessos diretos entre Rod. Fernão Dias e Pista Expressa da Rod. Pres. Dutra (2), provendo novas conexões tanto no sentido Interior como no sentido Capital. Além dessas novas conexões, também foi considerado nas simulações de cenários futuros o aumento de capacidade da via expressa da Dutra que deverá ocorrer mediante implementação de uma faixa adicional reversível, conforme previsto no novo contrato de concessão.

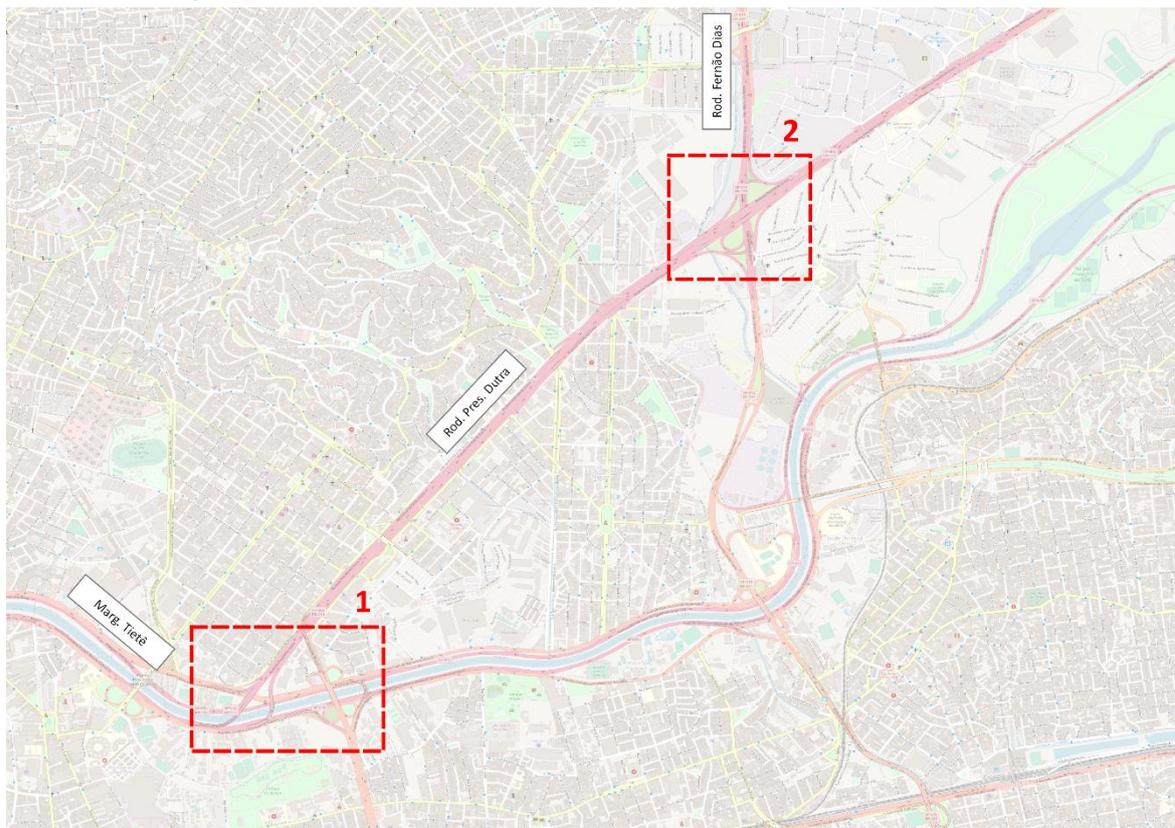
Ainda, foi considerada a conclusão do Rodoanel Norte (3). As obras mencionadas são ilustradas na Figura 145, juntamente ao trecho da Fernão Dias da RMSP, em azul, e com maior detalhe para as obras (1) e (2) na Figura 146.

**Figura 145 – Obras de infraestrutura consideradas nos cenários futuros da rede da RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

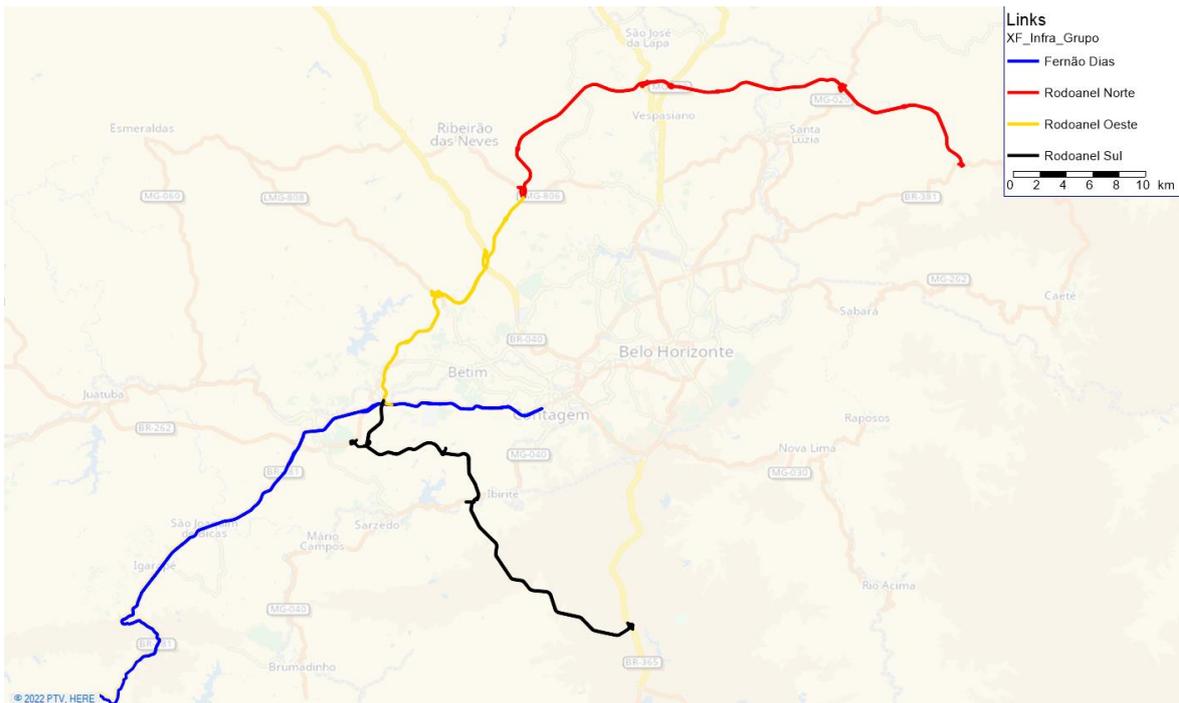
**Figura 146 – Detalhe das obras de infraestrutura (1) e (2) na rede da RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

Já na RMBH, estão previstas as obras dos trechos de rodoanel norte, oeste e sul, indicados na Figura 147, a seguir, com cobrança de pedagiamento *free-flow*. Para fins de simulação, foi considerada uma tarifa de  $0,32 \frac{R\$}{km}$ , com base nas estimativas fornecidas pelo EVTEA do projeto.

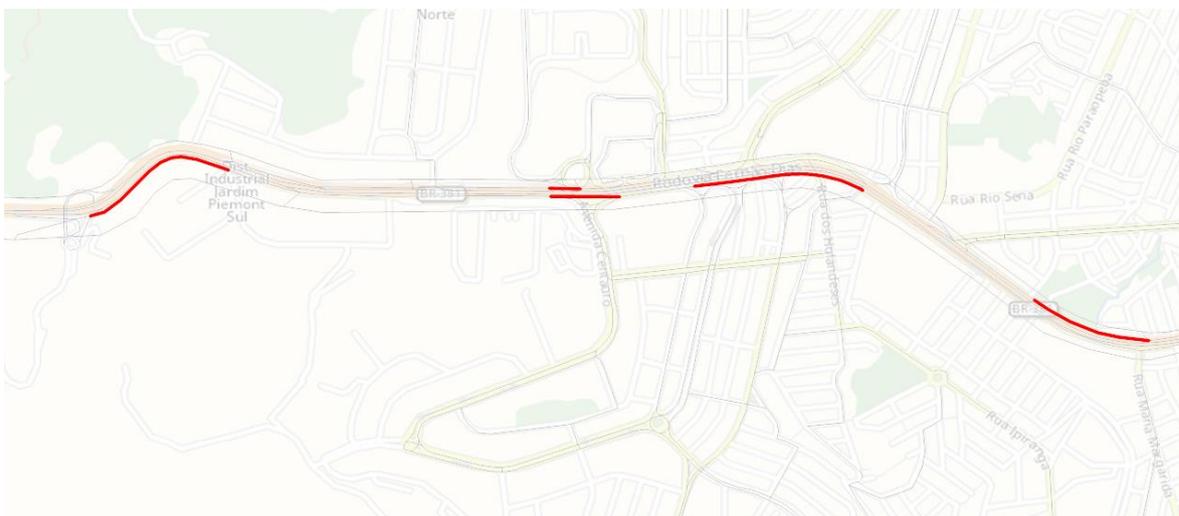
**Figura 147 – Obras de infraestrutura consideradas nos cenários futuros da rede da RMBH**



Fonte: Elaboração LOGIT

Ainda, no caso da RMBH, como mencionado no Capítulo 5.1, não há um trecho contínuo de marginal, sendo previsto, para o bom funcionamento de um dos cenários de cobrança considerados (Cenário A, melhor descrito no Capítulo 6.2.1), o prolongamento das marginais ao longo da rodovia, conforme a Figura 148 a seguir.

**Figura 148 – Prolongamentos de marginais da rodovia Fernão Dias na RMBH previstos**



Fonte: Elaboração LOGIT

Cabe destacar que, para o Cenário A, as obras de prolongamento das marginais são consideradas tanto nos resultados com quanto nos sem as infraestruturas futuras, dado que sem essa obra não é possível o bom funcionamento do sistema previsto nesse cenário (Sistema complementar).

## 6.2 Tipologias de Pedagiamento Free-Flow

Conforme mencionado no Capítulo 1, um dos objetivos deste estudo é a análise de alternativas de pedagiamento trecho-a-trecho na rodovia. Para isso, foram estudadas três configurações para ambas as regiões metropolitanas, descritas com mais detalhes a seguir.

### 6.2.1 Sistema Complementar (Cen A)

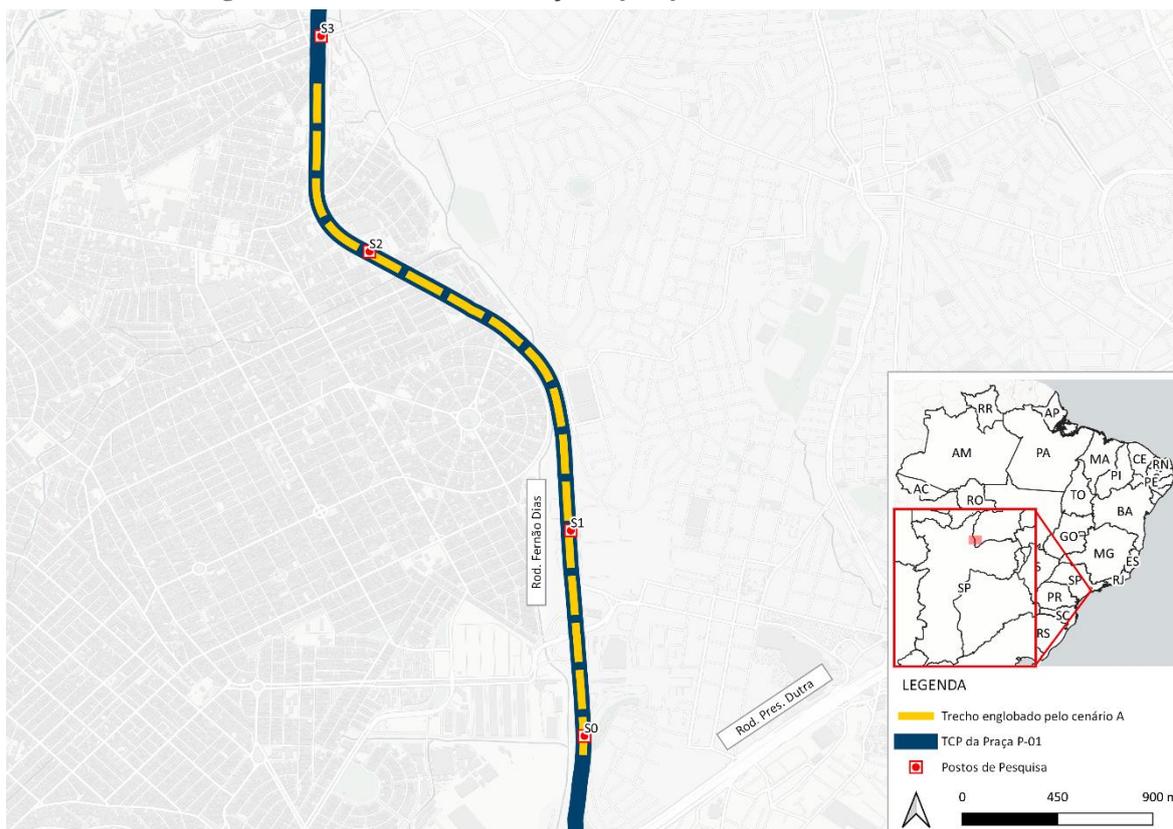
A visão de um sistema complementar consiste em manter o sistema troncal baseado em barreiras, fazendo da cobrança via *free-flow* um sistema secundário que não perturba a receita pedagiada do sistema troncal. Assim, há maior flexibilidade de regramento. Trata-se de um aspecto mais pertinente a contextos de concessões existentes, em que a alocação de riscos e a manutenção do equilíbrio econômico-financeiro têm papel crítico.

O emprego de um sistema complementar, como um sistema de *managed lanes*, permite alcançar apenas parcialmente a efetividade de um potencial sistema híbrido, por natureza. Por outro lado, o sistema complementar oferece menos perturbação ao sistema de arrecadação, representando uma fonte de receita adicional. Há de se observar que esta alternativa requer condições de infraestrutura mais específicas, como segregação entre pistas.

A Figura 149 e a Figura 151 mostram os trechos com cobrança via *free-flow* no cenário A, para as regiões metropolitanas de São Paulo e Belo Horizonte, respectivamente, e a Figura 150 e a Figura 152 mostram em detalhe o início e final do trecho de cobrança, totalizando um trecho de 4,0 km de extensão com cobrança via *free-flow* na RMSP, em ambos os sentidos, e de 5,0 km no sentido norte e 4,5 km no sentido sul na RMBH – trechos de extensões similares.

Ambas as redes consideram um cenário A com cobrança do dobro da tarifa quilométrica da concessão, de modo a acentuar a diferença entre as pistas expressa e marginal.

**Figura 149 – Trecho de cobrança via *free-flow* no cenário A na RMSP**



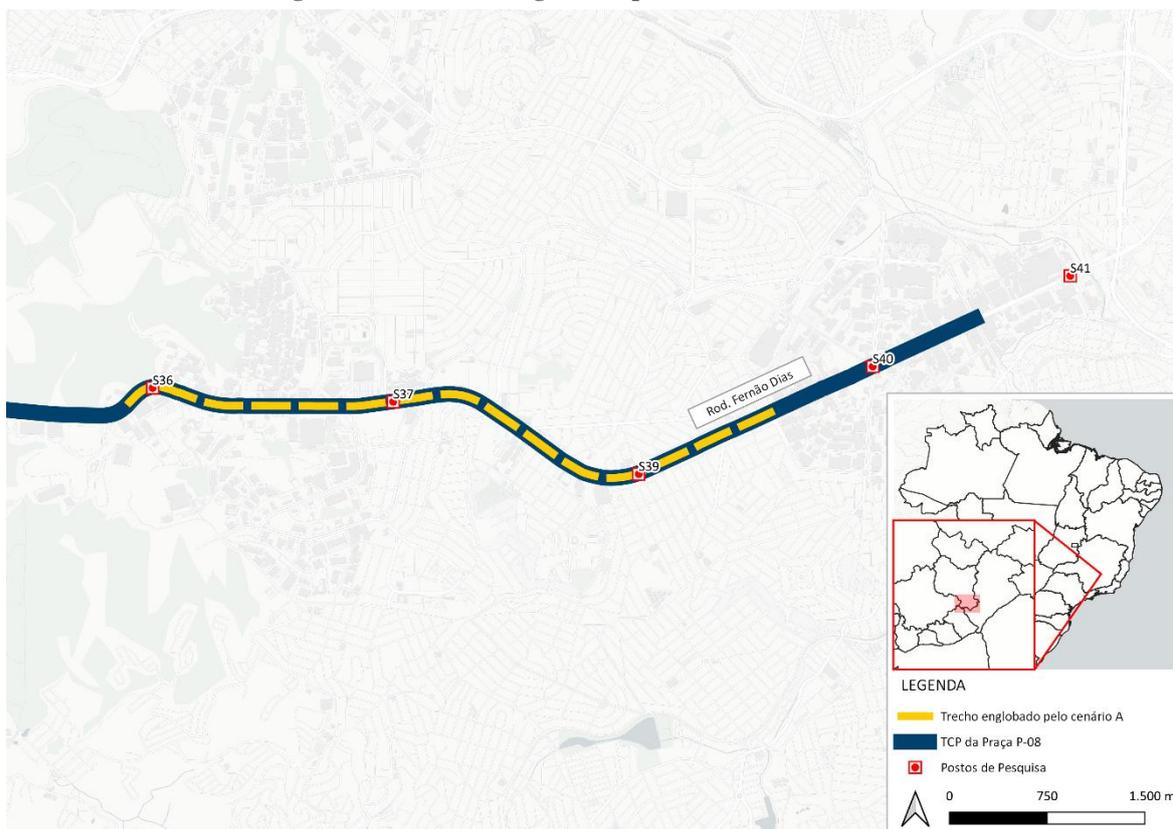
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 150 – Detalhamento do início do trecho de pedagiamento *free-flow* (em vermelho) no Cenário A, nas extremidades norte (a) e sul (b) da Fernão Dias na RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

Figura 151 – Trecho englobado pelo cenário A na RMBH



Fonte: Elaboração LOGIT

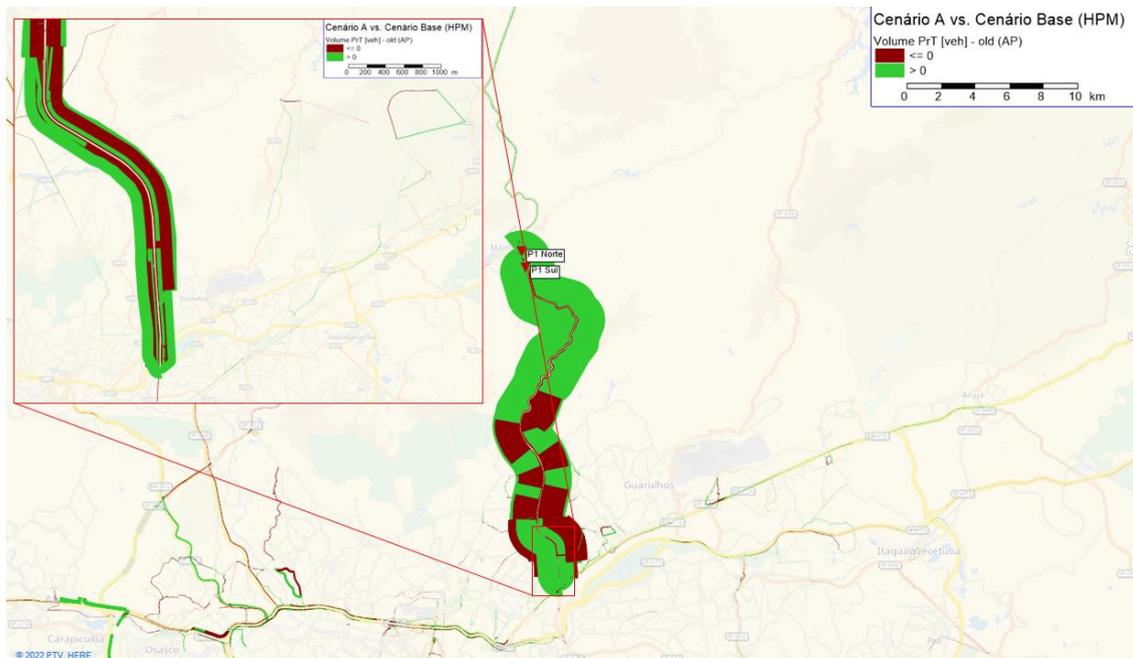


No sentido da região metropolitana, o sistema de detecção do pedagiamento trecho-a-trecho deve ser capaz de identificar os usuários que já passaram pela praça de pedágio (P-01 ou P-08, na RMSP e RMBH, respectivamente), de forma a não gerar novas cobranças de pedágio a este segmento de usuários. Similarmente, no fluxo sentido interior os usuários que porventura tenham utilizado o trecho *free-flow* da pista expressa e passem pela praça de pedágio devem ser identificados para não ficarem sujeitos à cobrança do pedagiamento trecho a trecho, pagando unicamente a tarifa da praça de pedágio.

### 6.2.1.1 Tráfego

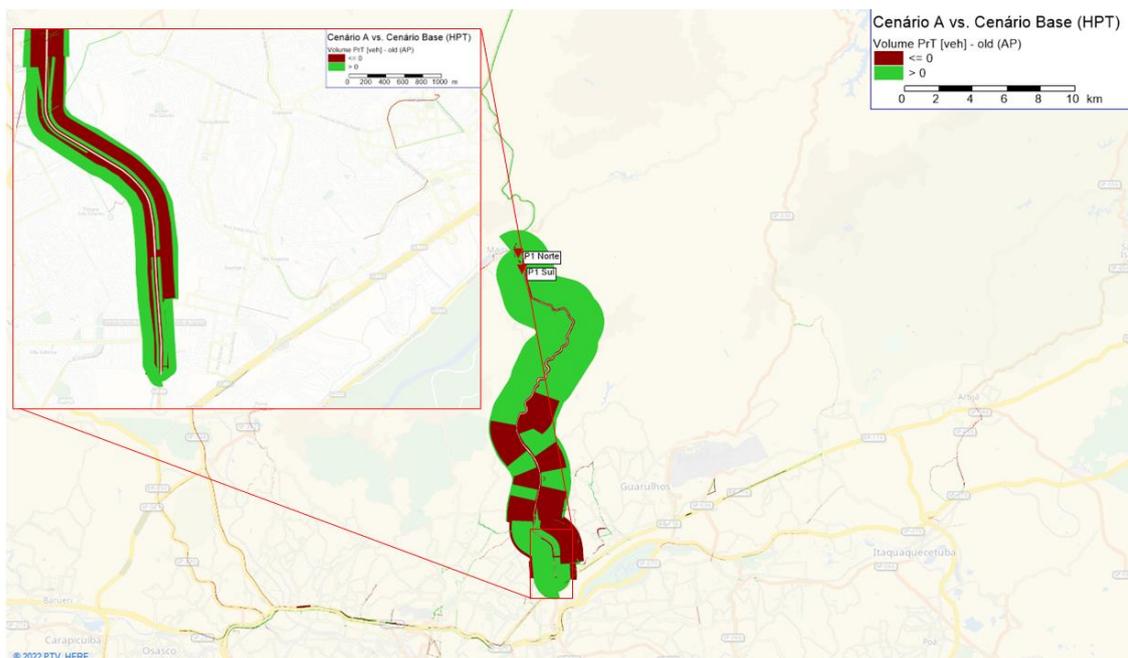
A comparação do carregamento das vias no cenário com o carregamento na situação atual permite observar os efeitos da modificação na cobrança tarifária. As barras verdes mais externas ao longo da rodovia Fernão Dias representam o fluxo na pista expressa que passa pela Praça de Pedágio – e, portanto, não é submetido à cobrança trecho a trecho. Ao longo do trecho de cobrança *free-flow*, observa-se um aumento de tráfego nas vias marginais, uma alternativa ao pedagiamento.

**Figura 153 – Comparação do carregamento da rede de RMSP no Cenário A, com relação ao Cenário Base, na HPM – em detalhe, o trecho de cobrança *free-flow***



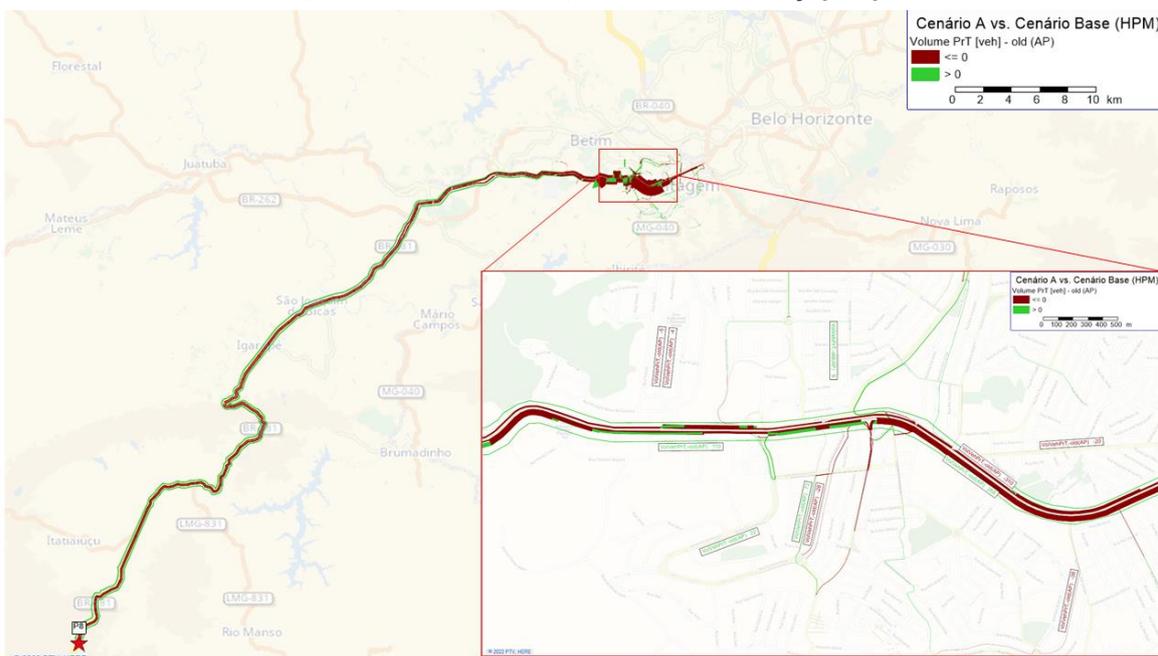
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 154 – Comparação do carregamento da rede de RMSP no Cenário A, com relação ao Cenário Base, na HPT – em detalhe, o trecho de cobrança *free-flow***



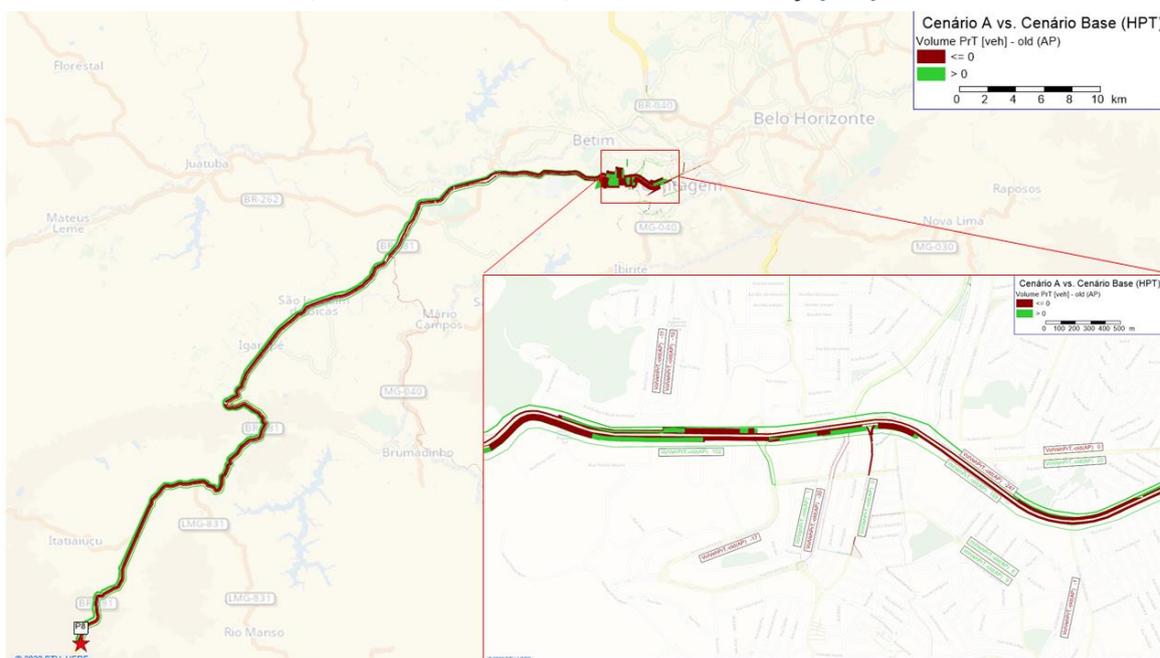
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 155 – Comparação do carregamento da rede de RMBH no Cenário A, com relação ao Cenário Base, na HPM – em detalhe, o trecho de cobrança *free-flow***



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 156 – Comparação do carregamento da rede de RMBH no Cenário A, com relação ao Cenário Base, na HPT – em detalhe, o trecho de cobrança *free-flow***



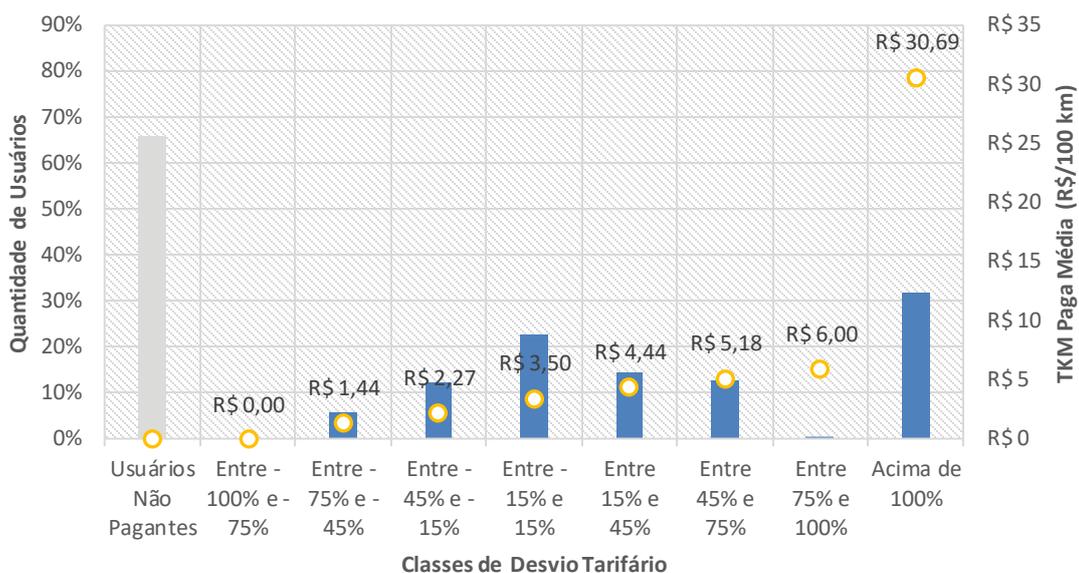
Fonte: Elaboração LOGIT

## 6.2.1.2 Iniquidade

### 6.2.1.2.1 RMSP

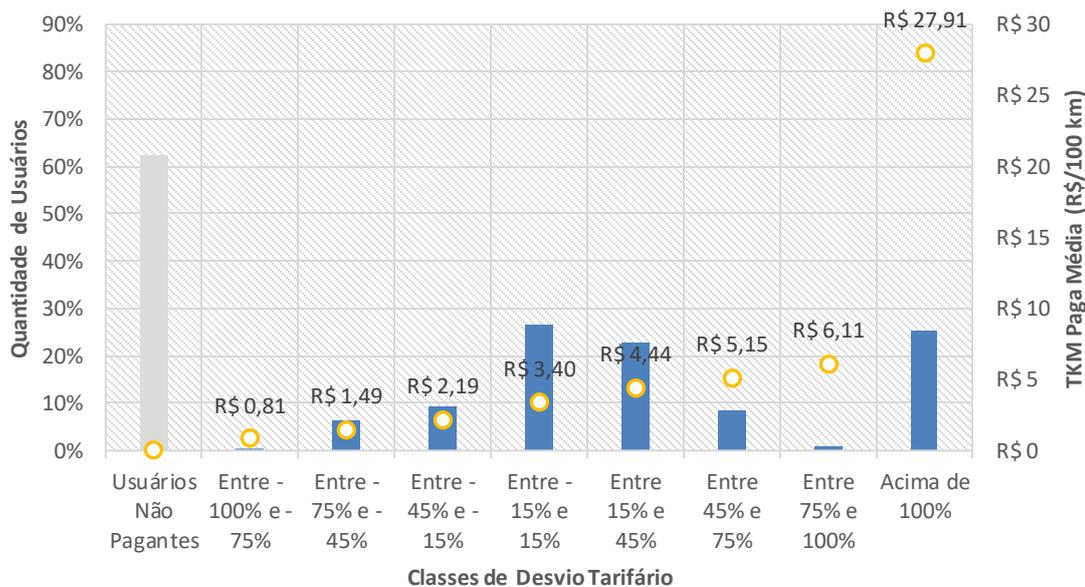
Na RMSP, o Cenário A causou uma pequena queda na iniquidade global (dimensão sistema de arrecadação) na hora-pico manhã, reduzindo o fator para 0,92 para os veículos de passeio e 0,89 para os veículos comerciais. Na hora-pico tarde, a queda foi para 0,92 e 0,89, respectivamente, indicando uma maior relação entre os que pagam e o total de veículos que passam pelo trecho de concessão. Na iniquidade local (dimensão usuário), em ambos os períodos, apesar da diminuição da proporção de usuários não-pagantes, e uma melhor distribuição dos pagantes entre as classes de desvios, há uma diminuição da proporção da classe de menor desvio.

**Figura 157 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-01, para o Cenário A na HPM**



Fonte: Elaboração LOGIT

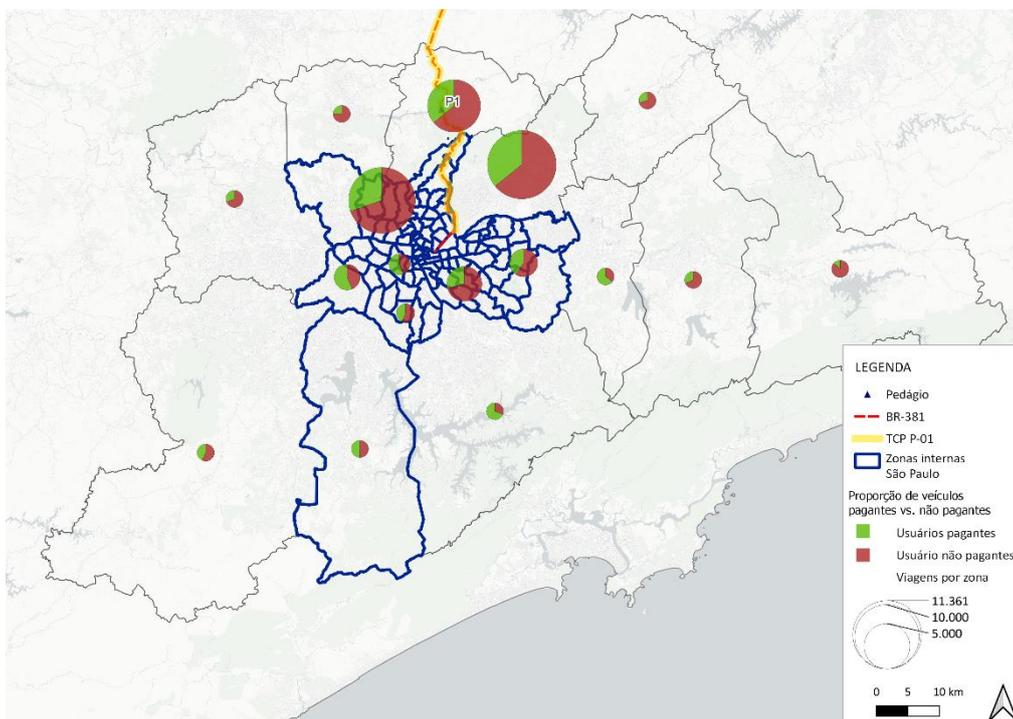
**Figura 158 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-01, para o Cenário A na HPT**



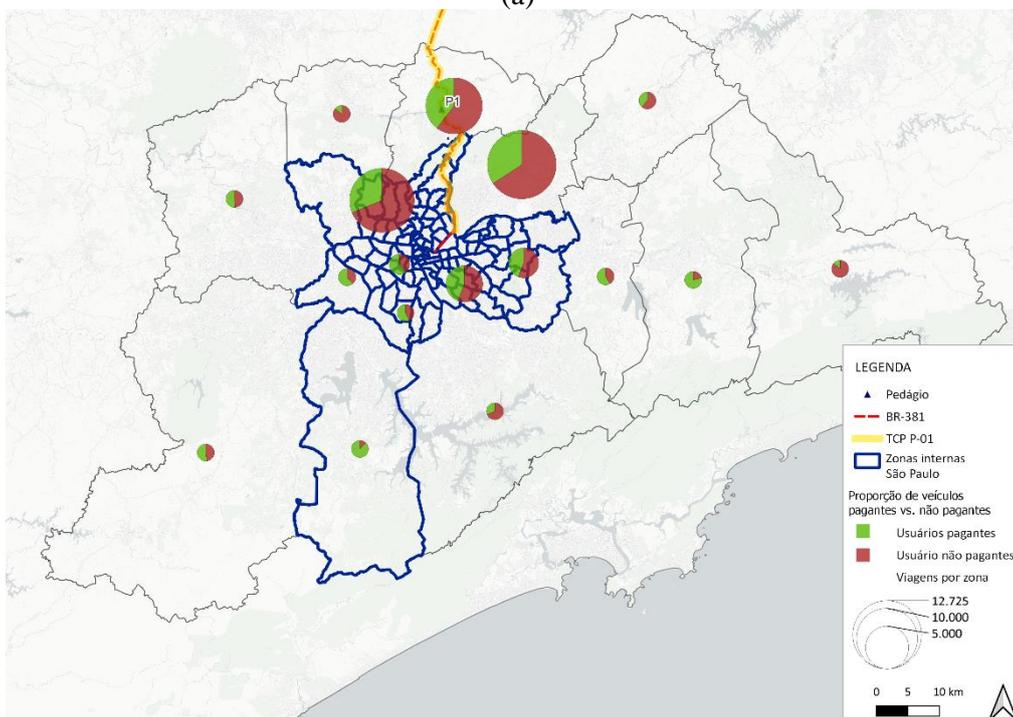
Fonte: Elaboração LOGIT

Especialmente, olhando para viagens com origem e/ou destino dentro da RMSP na Figura 159, observa-se como a proporção de usuários pagantes aumenta consideravelmente com relação ao cenário base.

**Figura 159 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens do Cenário A da RMSP na HPM (a) e HPT (b)**



(a)

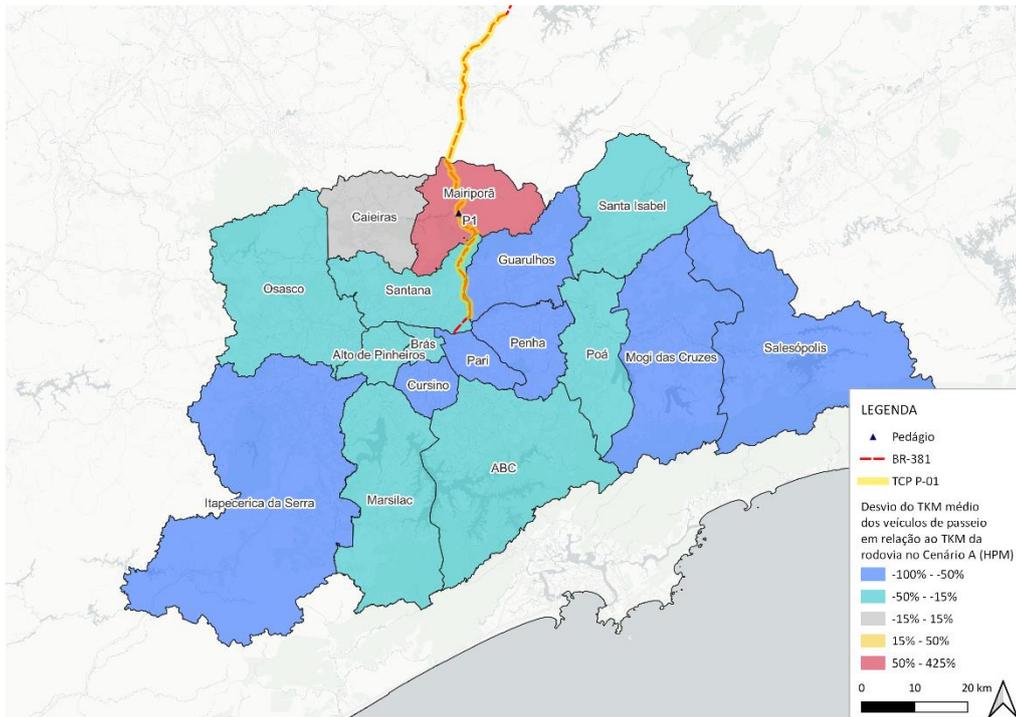


(b)

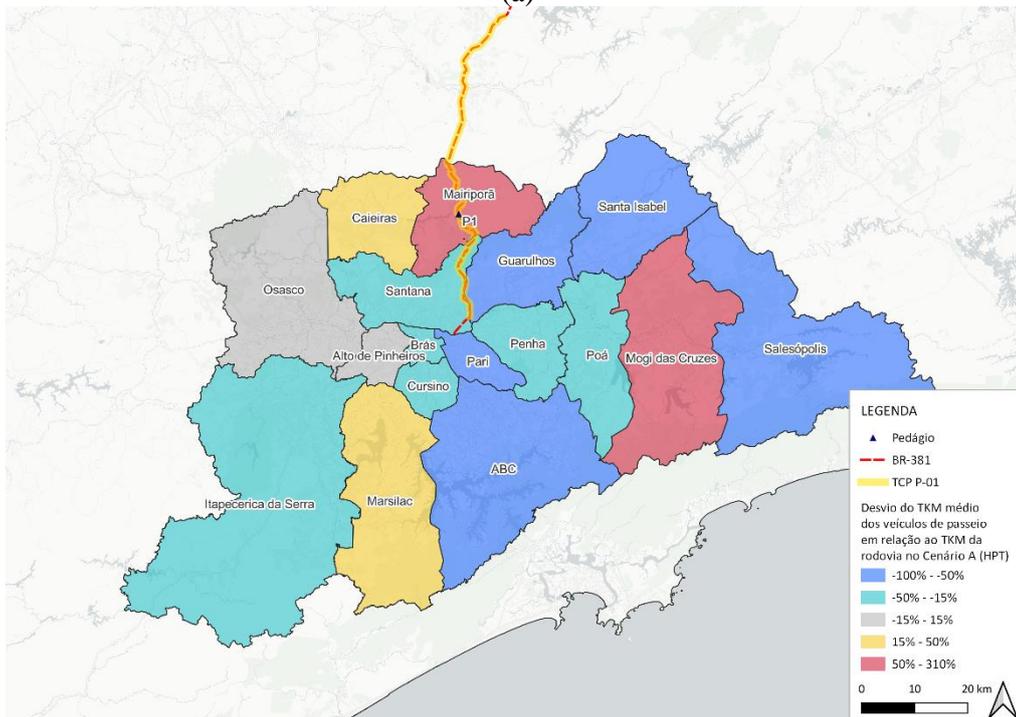
Fonte: Elaboração LOGIT

Quanto ao desvio da TKM (Figura 160 e Figura 161), a análise espacial permite observar ainda uma grande variedade de faixas de desvio nas diferentes macrozonas da RMSP. Ainda, a hora-pico tarde contém mais viagens com desvios acima da TKM da concessão, no caso dos veículos de passeio. Nos veículos comerciais, há mais macrozonas com desvios mínimos, em especial na hora-pico tarde.

**Figura 160 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP no Cenário A na HPM (a) e na HPT (b)**



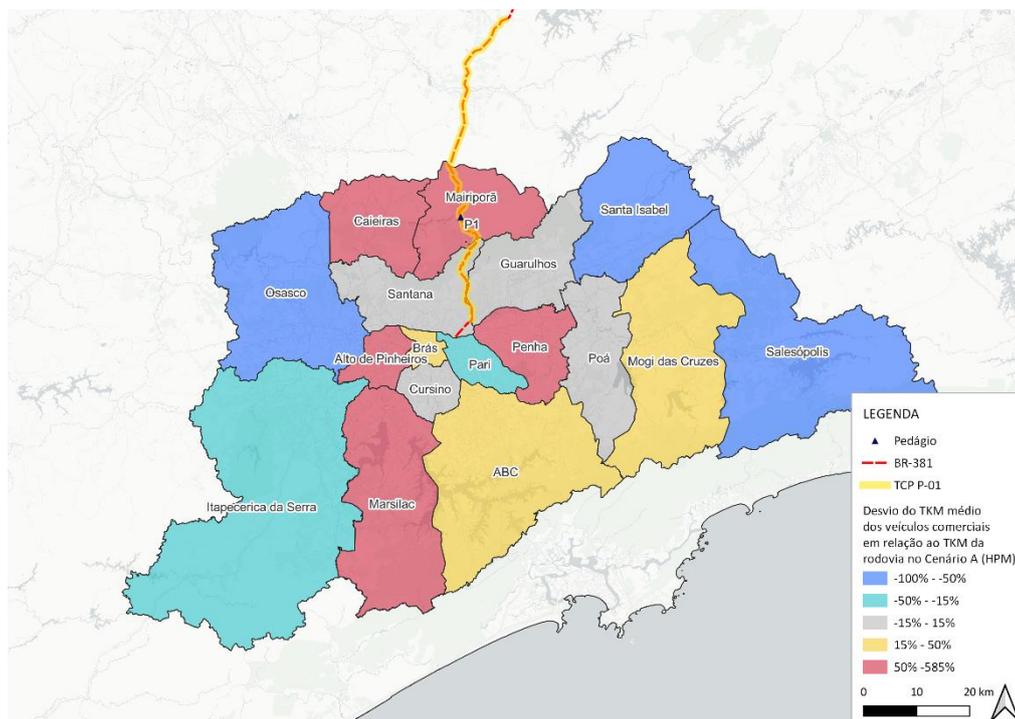
(a)



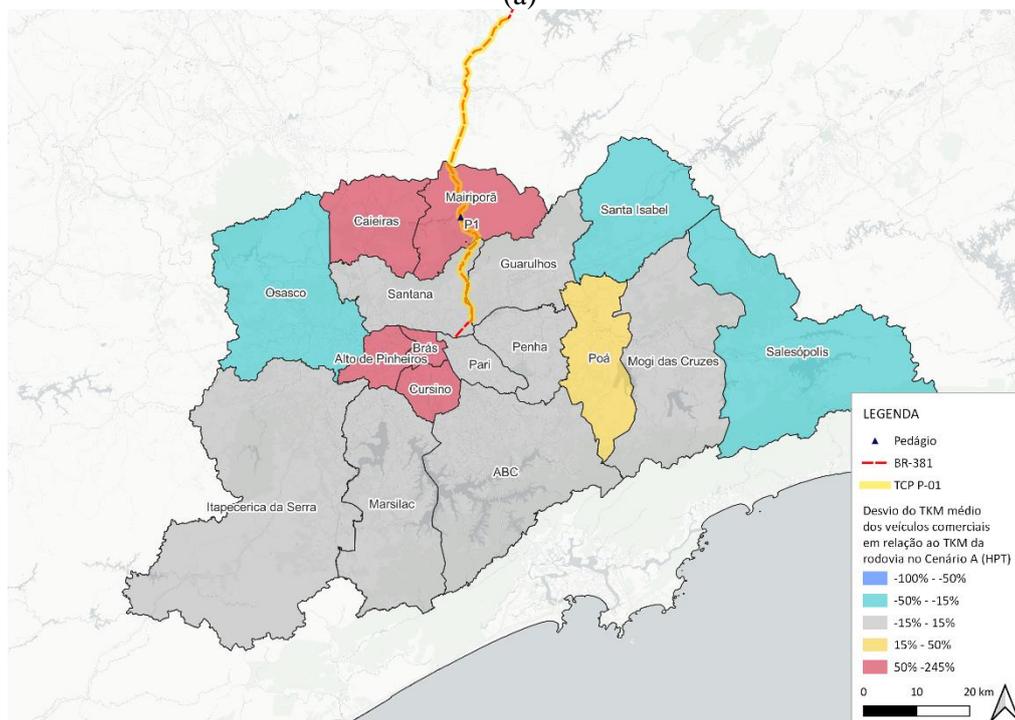
(b)

Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 161 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP no Cenário A na HPM (a) e na HPT (b)**



(a)



(b)

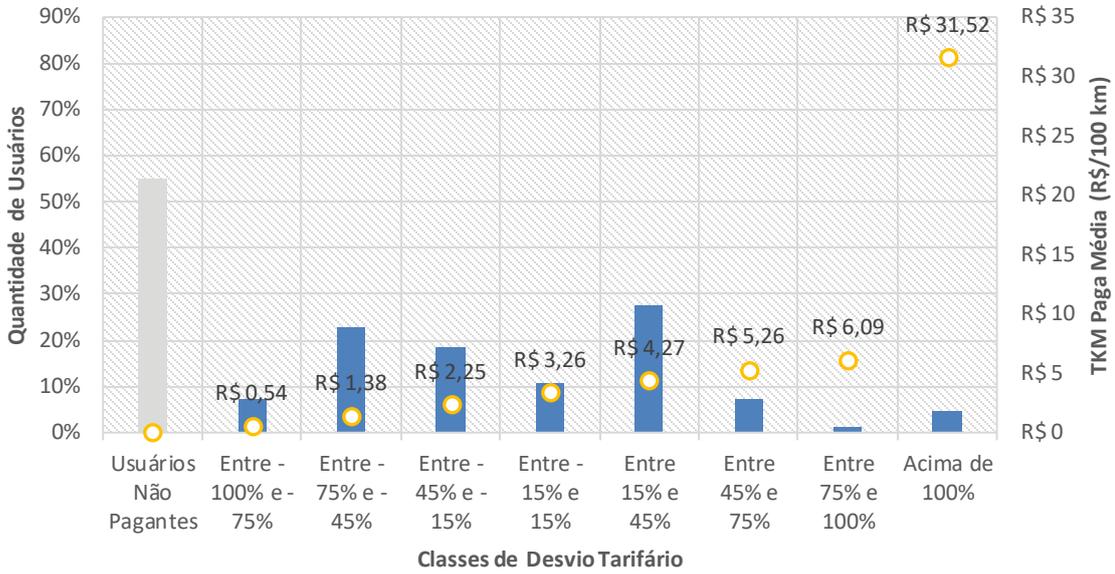
Fonte: Elaboração LOGIT

### 6.2.1.2.2 RMBH

Na hora-pico manhã da RMBH, a iniquidade global dos veículos de passeio foi de 1,96, e dos veículos comerciais de 1,19, e na hora-pico tarde, os resultados foram de 1,98 e 1,17, respectivamente para essas categorias, se aproximando mais de uma razoável equidade. Em termos

da visão dos usuários, vê-se uma queda expressiva na proporção de usuários não-pagantes, e uma melhor distribuição nas classes de desvio tarifário dos pagantes, em relação ao cenário base.

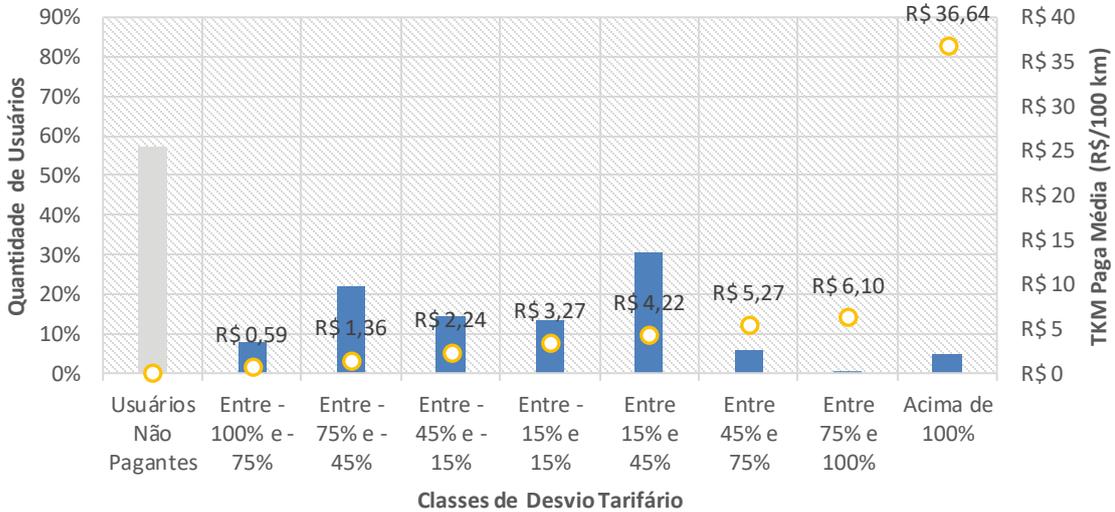
**Figura 162 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08, para o Cenário A na HPM**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 163 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08, para o Cenário A na HPT**

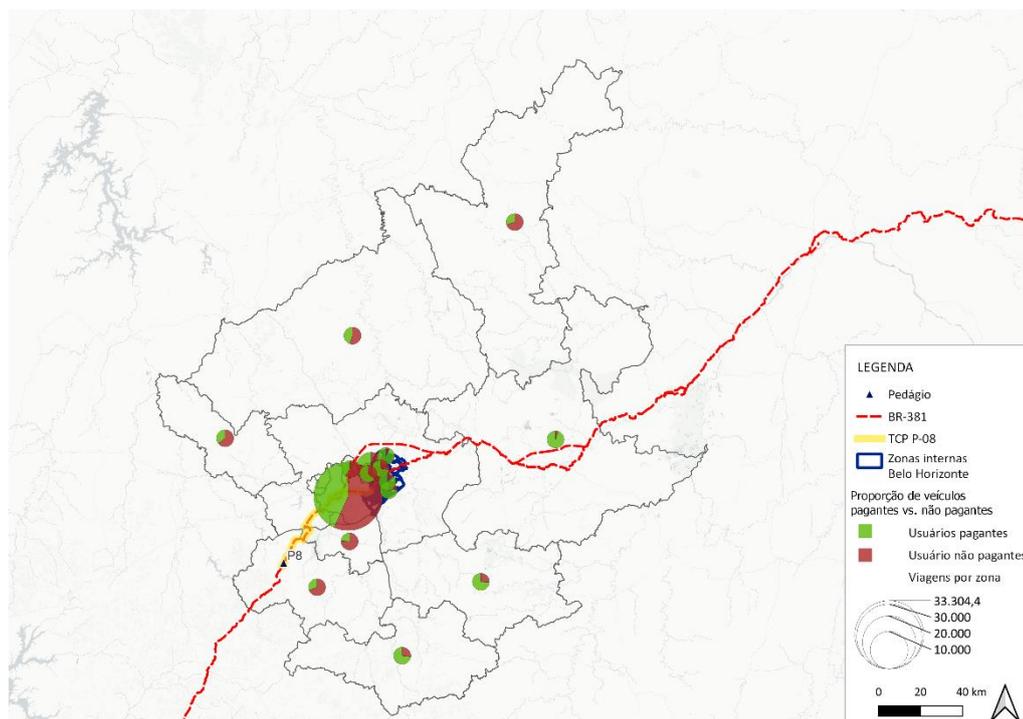
Iniquidade – Visão Usuário



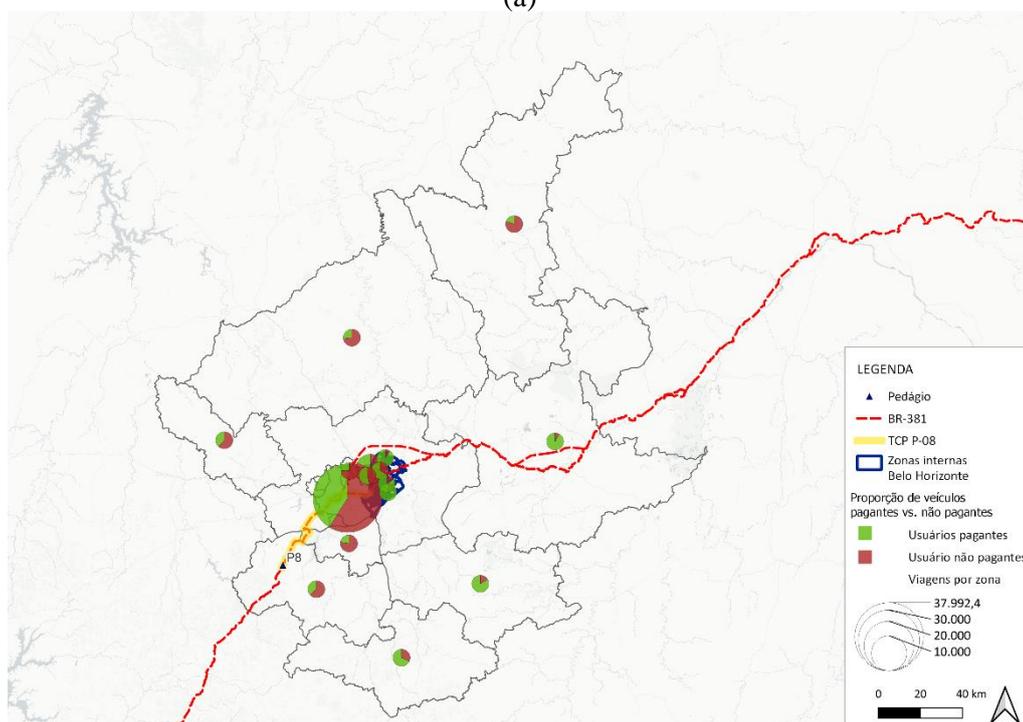
Fonte: Elaboração LOGIT

Especialmente, olhando para viagens com origem e/ou destino dentro da RMBH na Figura 164, observa-se como a proporção de usuários pagantes aumenta consideravelmente com relação ao cenário base.

**Figura 164 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens do Cenário A da RMBH na HPM (a) e HPT (b)**



(a)

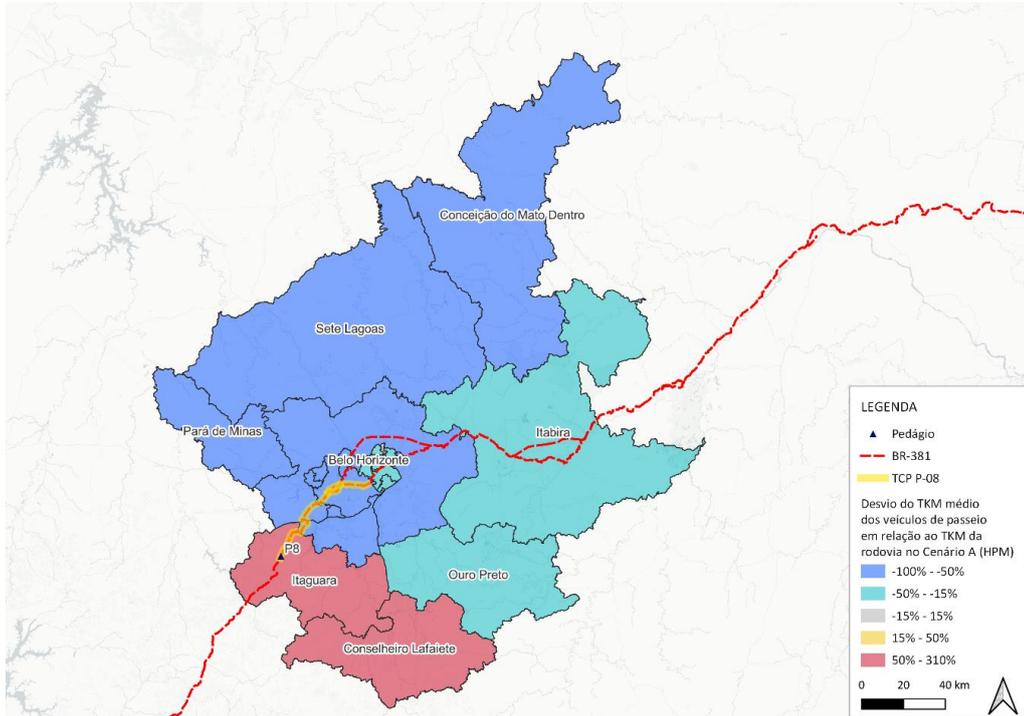


(b)

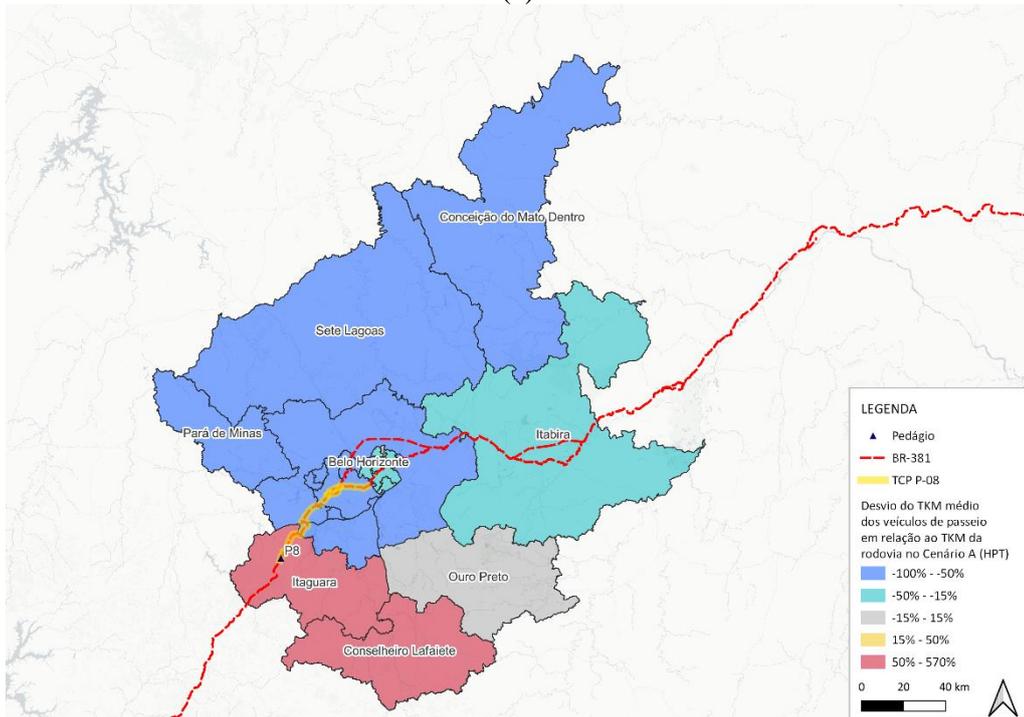
Fonte: Elaboração LOGIT

Quanto ao desvio da TKM (Figura 165 e Figura 166), a análise espacial permite observar que se mantém as TKMs médias bem acima da TKM da concessão nas macrozonas mais próximas à praça de pedágio. No entanto, as demais macrozonas apresentam desvios um pouco menores do que na situação atual, mostrada na Figura 137 e na Figura 138 do Capítulo 5.2.1.3.

**Figura 165 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH no Cenário A na HPM (a) e na HPT (b)**



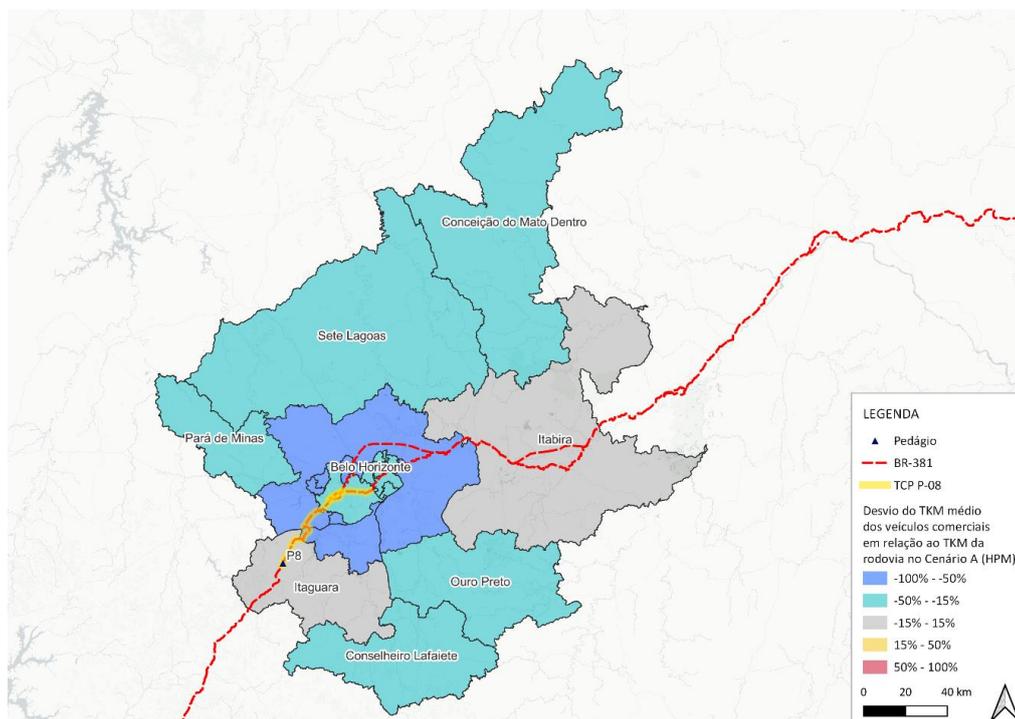
(a)



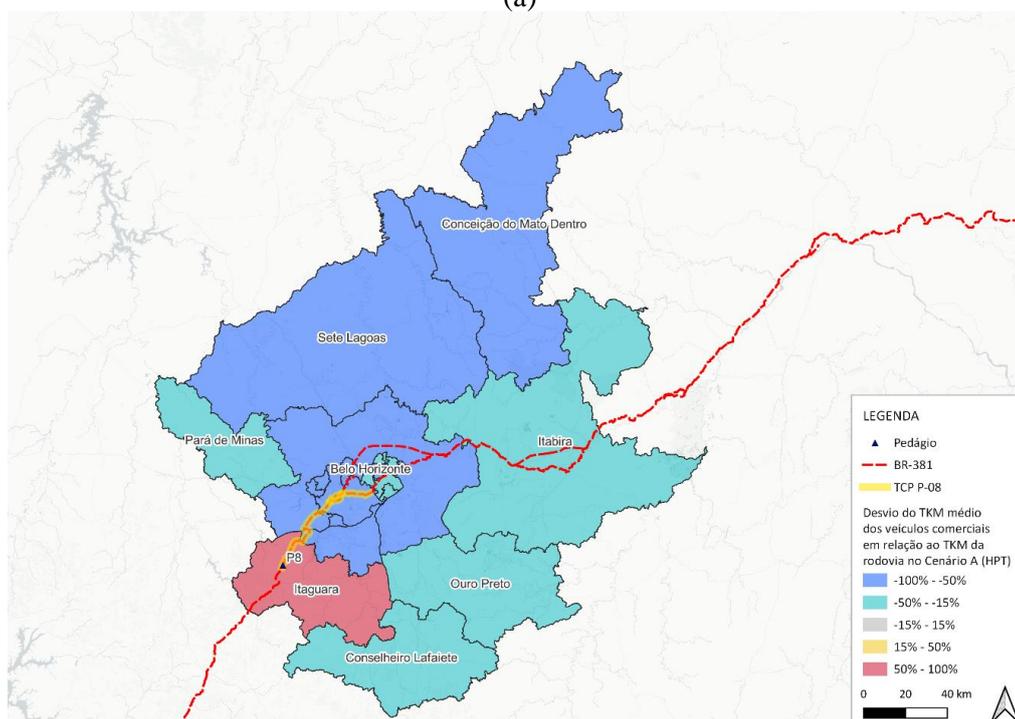
(b)

Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 166 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH no Cenário A na HPM (a) e na HPT (b)**



(a)



(b)

Fonte: Elaboração LOGIT

## 6.2.2 Sistema Híbrido (Cen B)

O sistema híbrido consiste em manter a operação de ambas as formas de arrecadação: (i) praças de pedágio e (ii) pórticos ao longo da via, mas, diferentemente do sistema complementar (Cenário

A), a cobrança entre os sistemas é aditiva (i.e., usuários que pagam a praça de pedágio também estão sujeitos ao pagamento do *free-flow*) e o *free-flow* opera tanto na pista expressa quanto na pista marginal, não configurando, a princípio, um sistema de *managed lanes*. Na prática, o TCP da praça de pedágio é reduzido, diminuindo a tarifa cobrada por ela, e a extensão que foi subtraída da cobrança na praça de pedágio passa a ser realizada via *free-flow*.

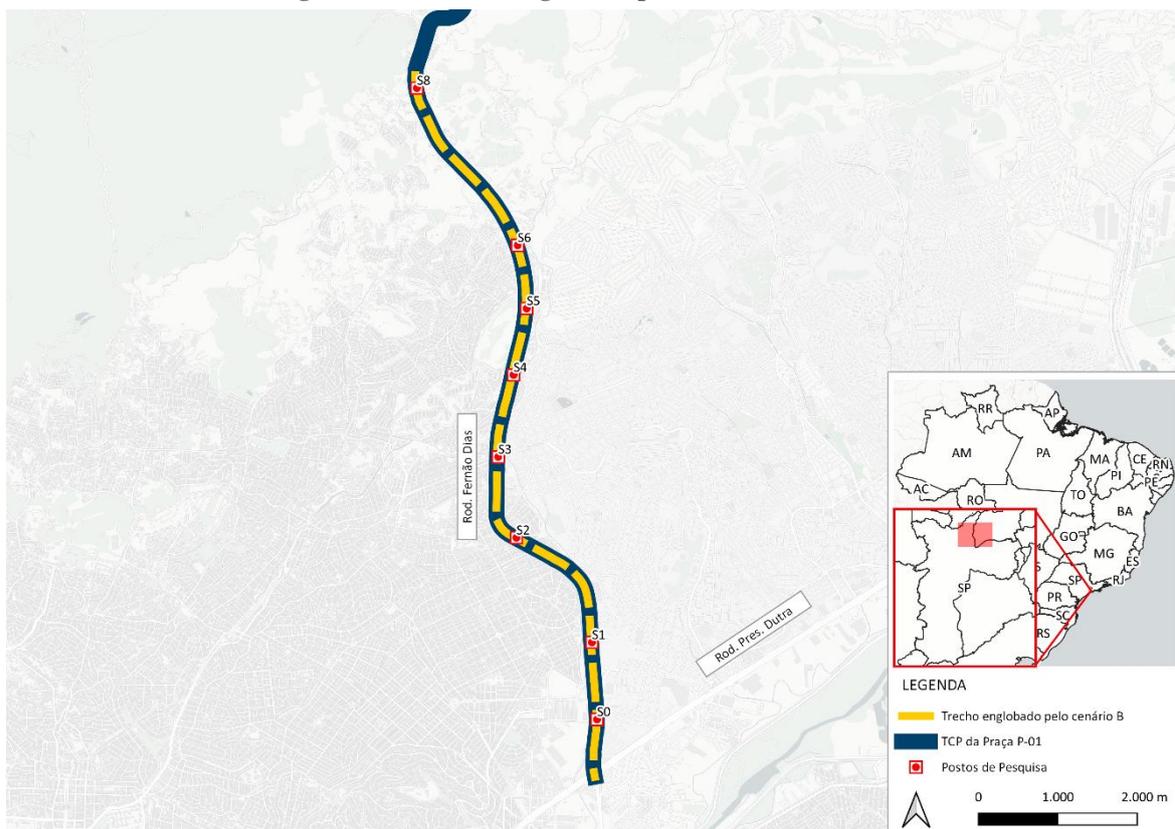
Para tal, é necessário conceber um regramento sobre como os sistemas interagem e sobre o grau de obrigatoriedade da adesão ao sistema *free-flow*. O regramento pode variar entre veículos comerciais e veículos de passeio, como observa-se em diversos países. Além disso, a adequação do sistema de arrecadação atual face à nova cobrança obrigatória (via pórticos) dentro de seu Trecho de Cobertura pode ocorrer de duas formas principais:

- a. Reduzir-se a tarifa da praça de pedágio para compatibilizar-se com a nova cobrança via pórticos, de modo que a tarifa a ser paga por um usuário que percorre todo o Trecho de Cobertura da Praça (TCP) será a “nova tarifa da praça (B)” somada à “tarifa dos pórticos (C)” – soma que totalizará o montante da “tarifa atual da praça (A)”, isto é,  $(A) = (B) + (C)$
- b. Manter a tarifa da praça no valor atual, mas isentar os usuários que passam pela praça de cobrança nos pórticos, de modo que usuários que percorram todo o TCP da praça fiquem sujeitos a uma tarifa equivalente à própria “tarifa atual da praça” – como no caso descrito no parágrafo anterior, de modo que a diferença entre ambos reside essencialmente em aspectos operacionais, além de não atrelar a tarifa dos usuários que passam pela praça de pedágio de bloqueio a seu percurso dentro do trecho sujeito a pedagiamento *free-flow*. Há que se observar, entretanto, que esta segunda abordagem agrega menor entropia ao sistema de arrecadação atual, sendo recomendada, por estas razões.

O emprego de um sistema híbrido, implementando pórticos e pedagiamento PaP em parte do trecho de cobertura das praças mais extremas da AFD, permite atacar as manchas urbanas de forma direcionada – um aspecto benéfico, considerando que são as áreas em que se concentra o potencial de ação, por possuir maior grau de iniquidade entre usuários e maior potencial de aumento da base pedagiada e de geração de receita adicional.

A Figura 167 e a Figura 169 mostram os trechos com cobrança via *free-flow* no cenário B, para as regiões metropolitanas de São Paulo, com 10,5 km de extensão, e Belo Horizonte, com 12,5 km, respectivamente. E a Figura 168 e Figura 170 mostram em detalhe o início e final desses trechos. Na RMSP, o trecho de cobrança via *free-flow* envolve 16 km no sentido norte, e 14 km no sentido sul. Já na RMBH, são 17 km no sentido norte, e 20 km no sentido sul.

Figura 167 – Trecho englobado pelo cenário B na RMSP



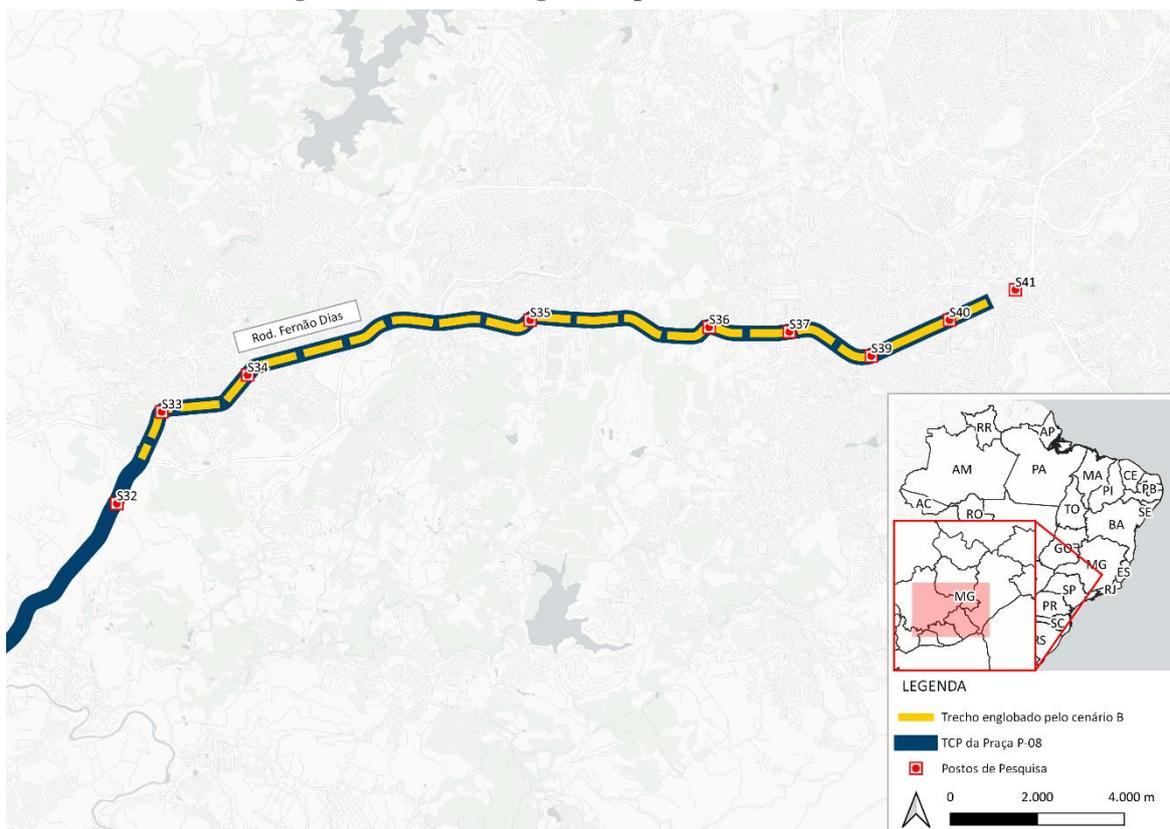
Fonte: Elaboração LOGIT

Figura 168 – Detalhamento do início do trecho de pedágio *free-flow* (em vermelho) no Cenário B, nas extremidades norte (a) e sul (b) da Fernão Dias na RMSP



Fonte: Elaboração LOGIT

Figura 169 – Trecho englobado pelo cenário B na RMBH



Fonte: Elaboração LOGIT

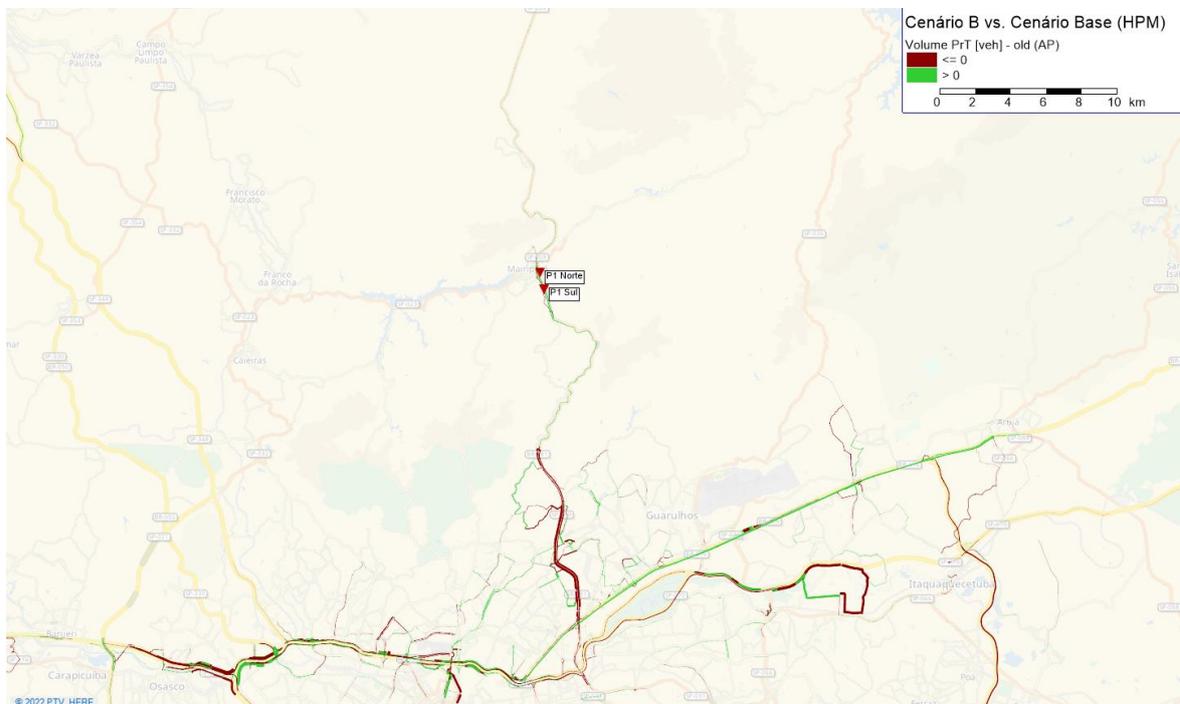


### 6.2.2.1 Tráfego

A comparação do carregamento das vias no cenário com o carregamento na situação atual permite observar os efeitos da modificação na cobrança tarifária. Nas simulações realizadas, considerou-se a alternativa “a” descrita no início da seção 6.2.2, isto é, a redução da tarifa das praças e cobrança obrigatória a todos no trecho sujeito a pedagiamento *free-flow* – com pouca perda de generalidade, como argumentado no mesmo parágrafo.

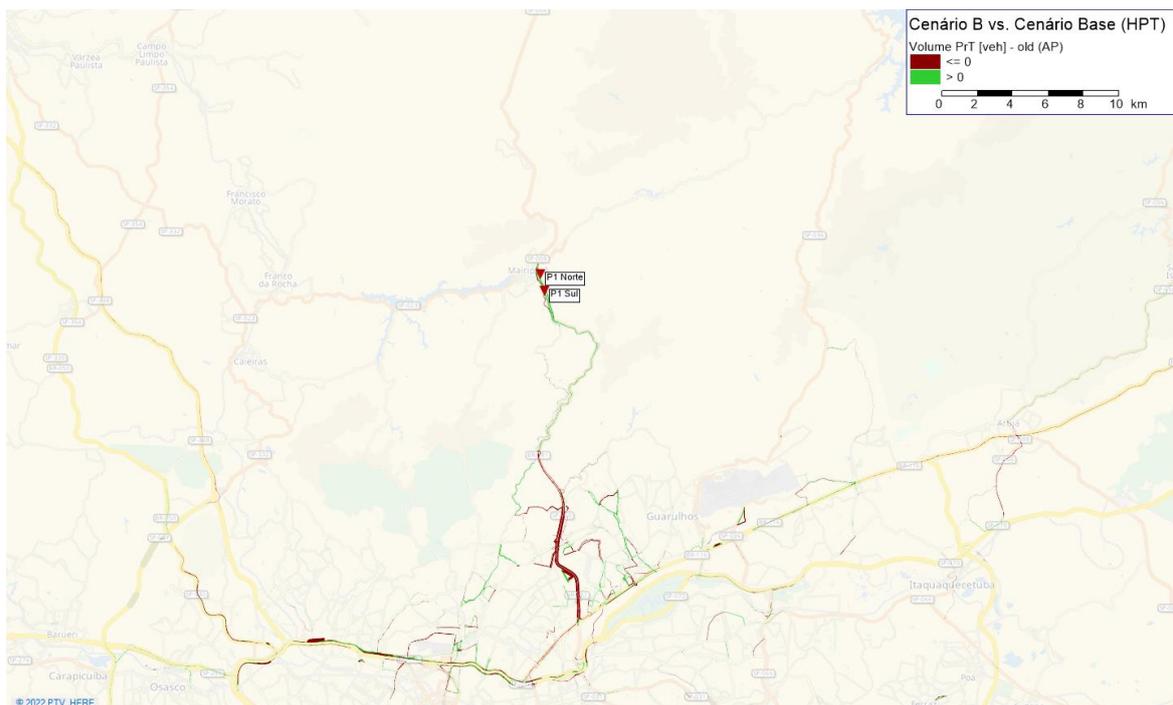
Com base nas simulações, observa-se uma diminuição de tráfego no trecho sujeito à cobrança *free-flow*, com ganhos nas vias locais “paralelas”, que servem como fuga dessa cobrança. Na RMSP, a praça de pedágio ganha carregamento, devido à diminuição de sua tarifa. Já na RMBH, não são vistos efeitos dessa diminuição no tráfego na praça, indicando um menor potencial de atração de demanda eventualmente existente em vias concorrentes.

**Figura 171 – Comparação do carregamento da rede de RMSP no Cenário B, com relação ao Cenário Base, na HPM**



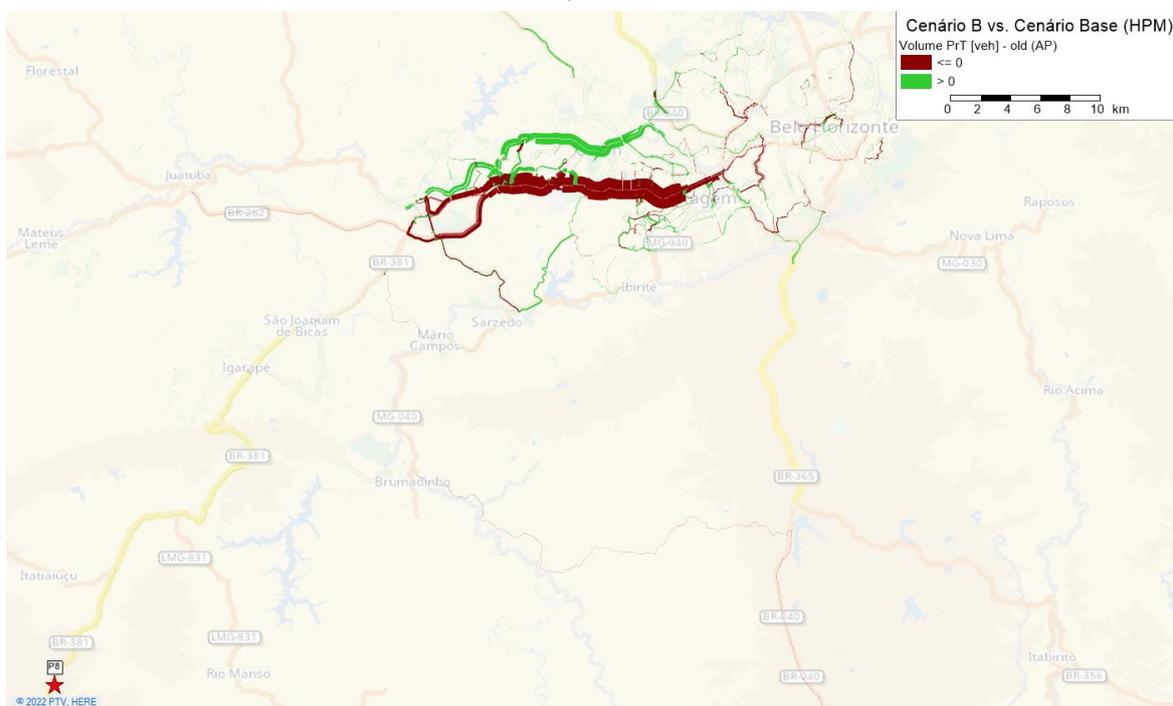
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 172 – Comparação do carregamento da rede de RMSP no Cenário B, com relação ao Cenário Base, na HPT**



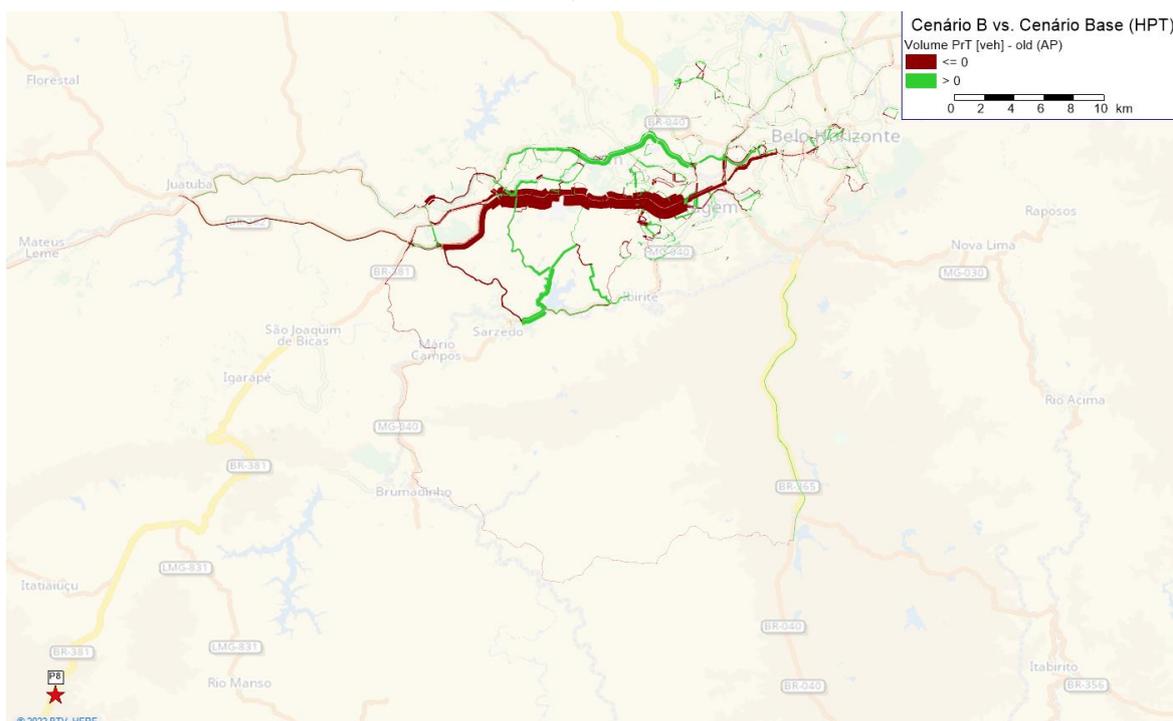
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 173 – Comparação do carregamento da rede de RMBH no Cenário B, com relação ao Cenário Base, na HPM**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 174 – Comparação do carregamento da rede de RMBH no Cenário B, com relação ao Cenário Base, na HPT**



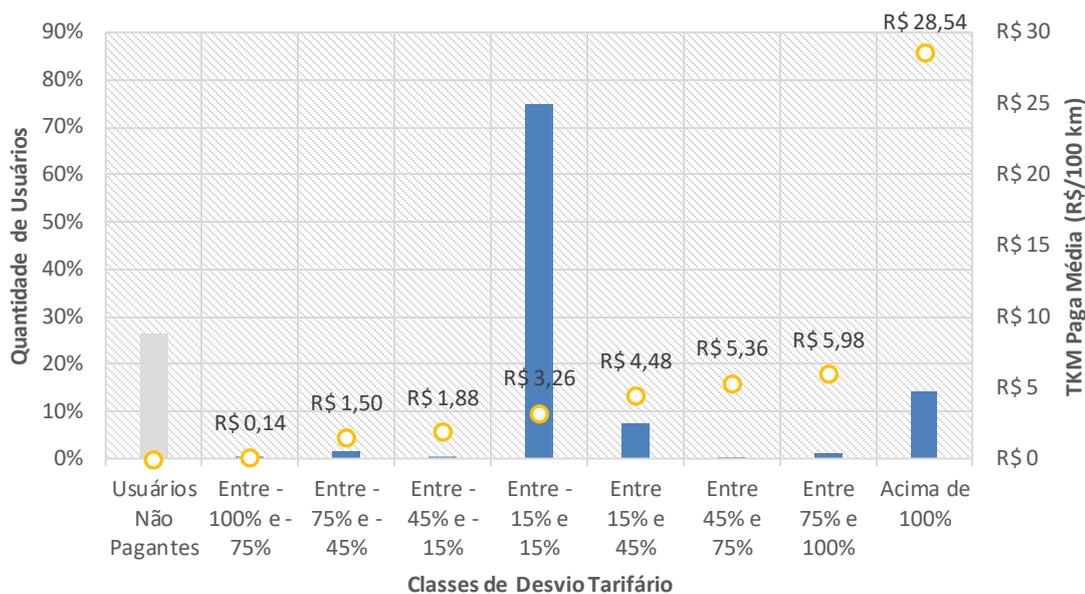
Fonte: Elaboração LOGIT

## 6.2.2.2 Iniquidade

### 6.2.2.2.1 RMSP

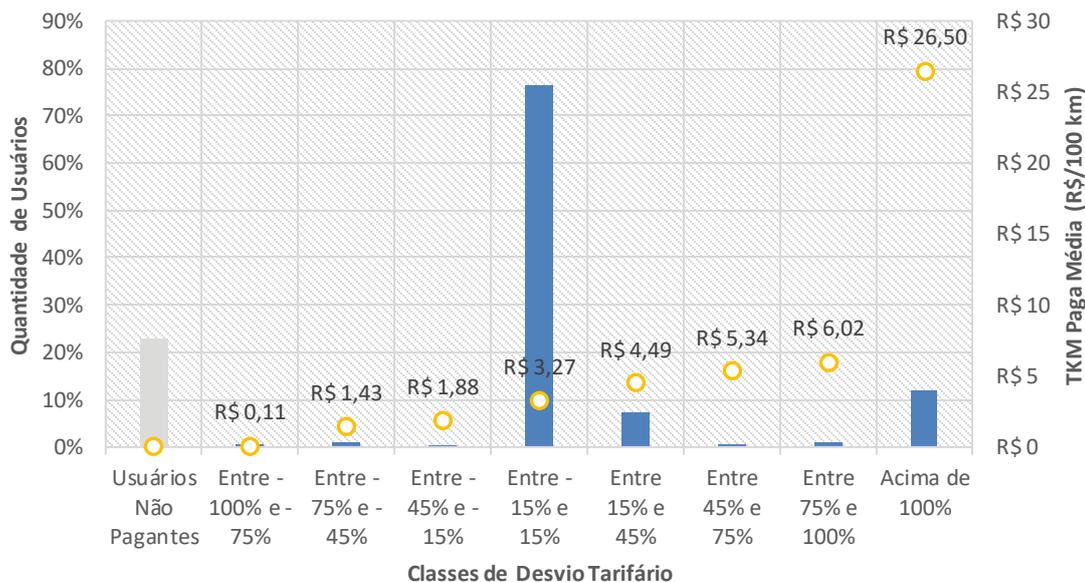
Na RMSP, a iniquidade global dos veículos de passeio no cenário B estimada foi de 0,85, e a dos comerciais de 0,90 na hora-pico manhã, e de 0,86 e 0,90 para essas categorias, respectivamente, na hora-pico tarde, ainda indicando uma razoável equidade, embora ligeiramente menor do que no cenário base, especialmente para os veículos de passeio. Do ponto de vista dos usuários, no entanto, a proporção de usuários pagantes com desvio mínimo aumenta consideravelmente (além da queda expressiva da parcela de usuários não-pagantes), em ambos os períodos.

**Figura 175 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-01, para o Cenário B na HPM**



Fonte: Elaboração LOGIT

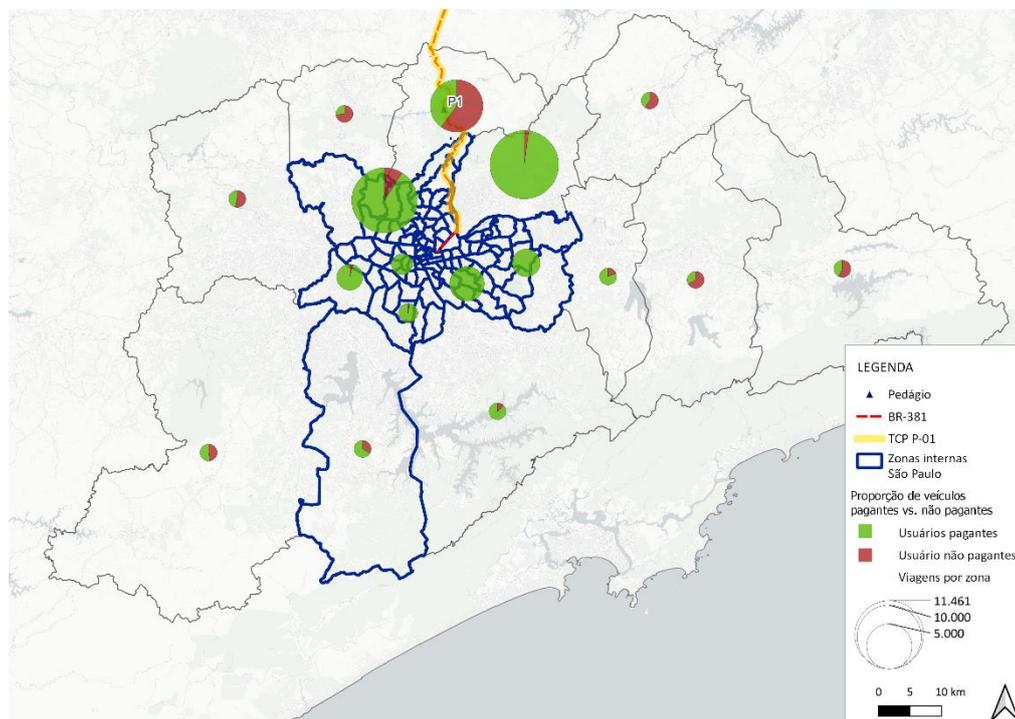
**Figura 176 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-01, para o Cenário B na HPM**



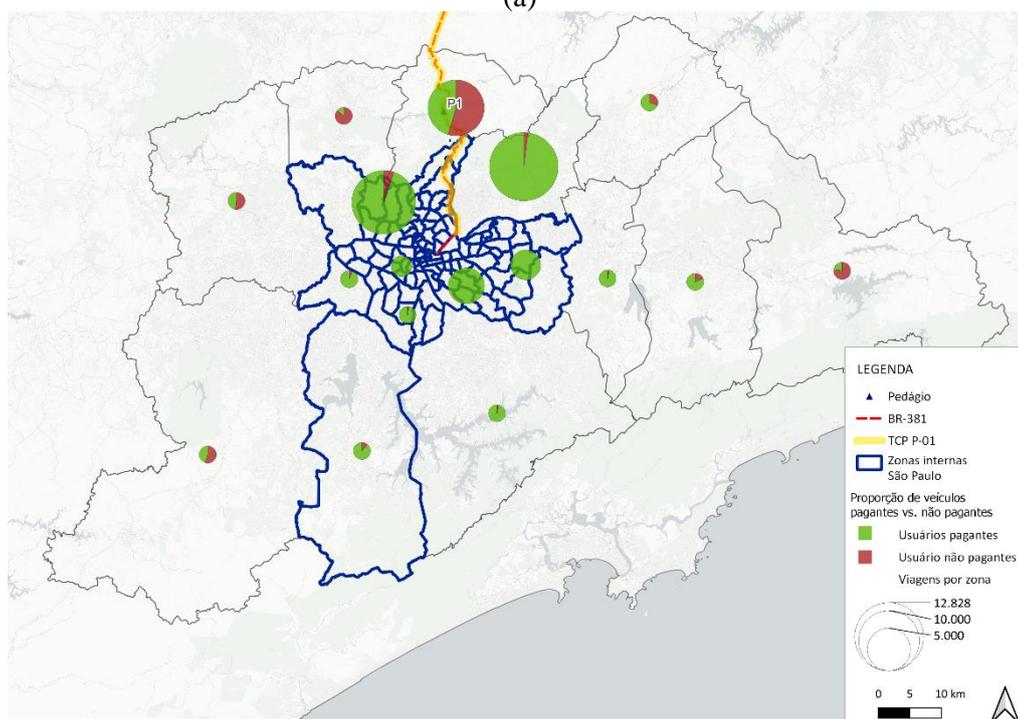
Fonte: Elaboração LOGIT

Especialmente, olhando para viagens com origem/ou destino dentro da RMSP na Figura 177, observa-se como a proporção de usuários pagantes aumenta consideravelmente com relação ao cenário base, bem como com relação ao cenário A.

**Figura 177 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens do Cenário B da RMSP na HPM (a) e HPT (b)**



(a)

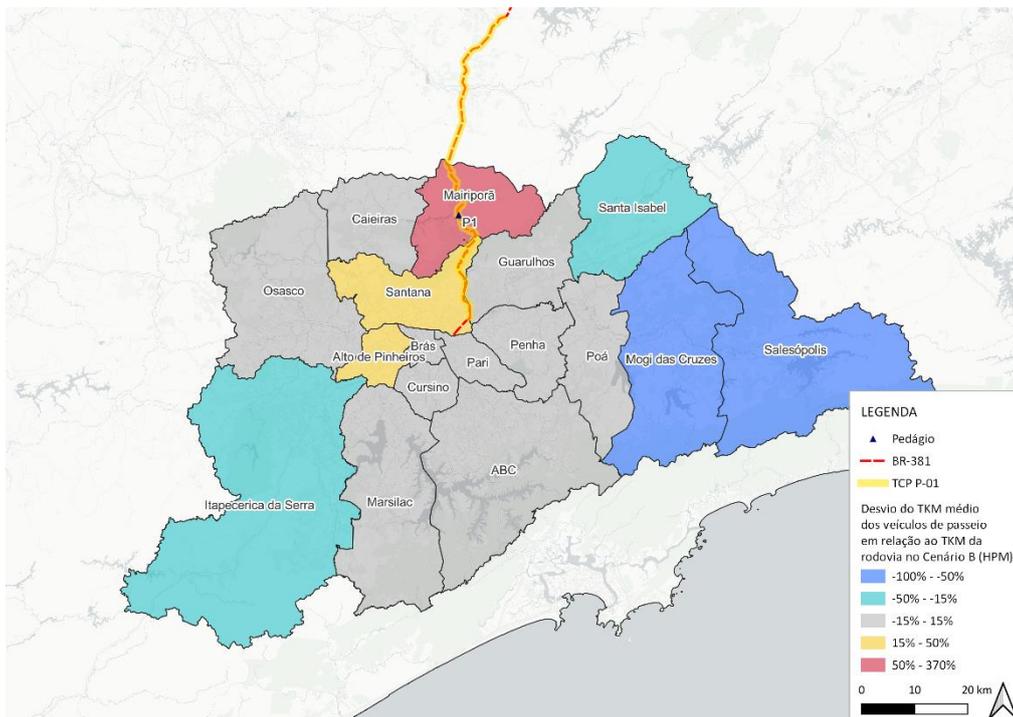


(b)

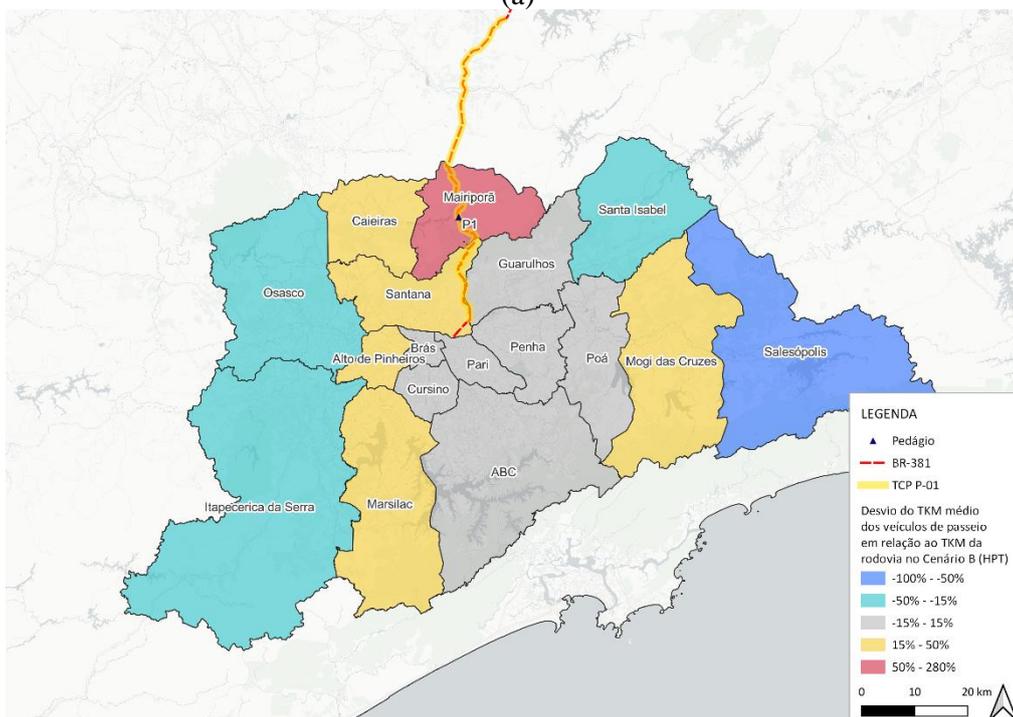
Fonte: Elaboração LOGIT

Quanto ao desvio da TKM (Figura 178 e Figura 179), a análise espacial permite observar uma maior quantidade de macrozonas com o desvio mínimo, no caso dos veículos de passeio. Nos veículos comerciais, há uma maior incidência de macrozonas com desvios acima da TKM da concessão.

**Figura 178 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP no Cenário B na HPM (a) e na HPT (b)**



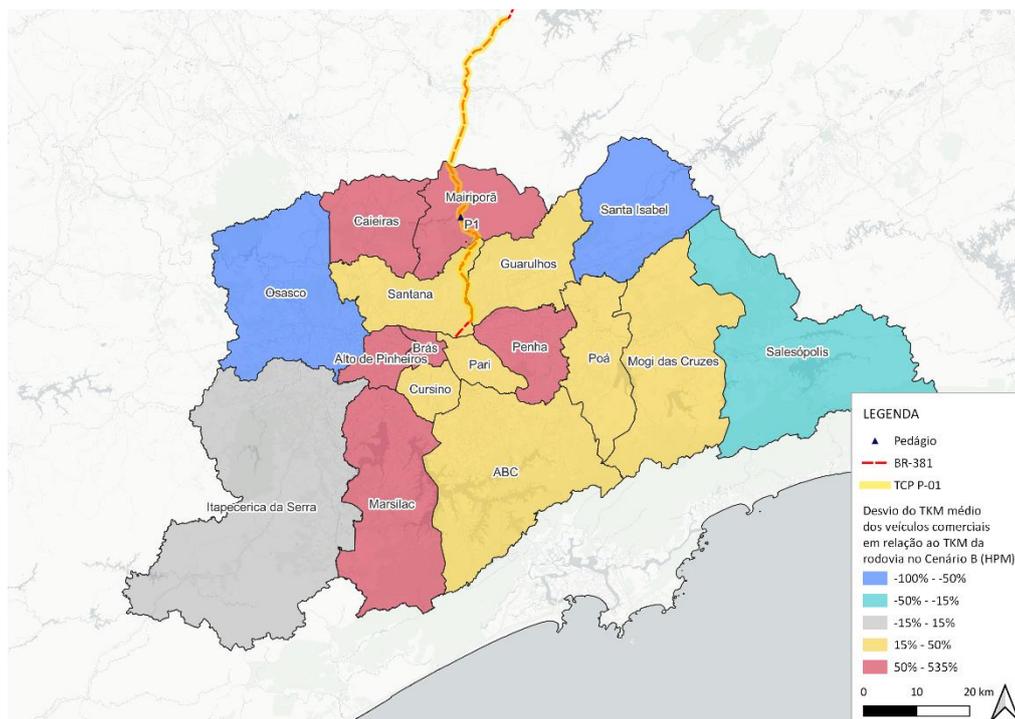
(a)



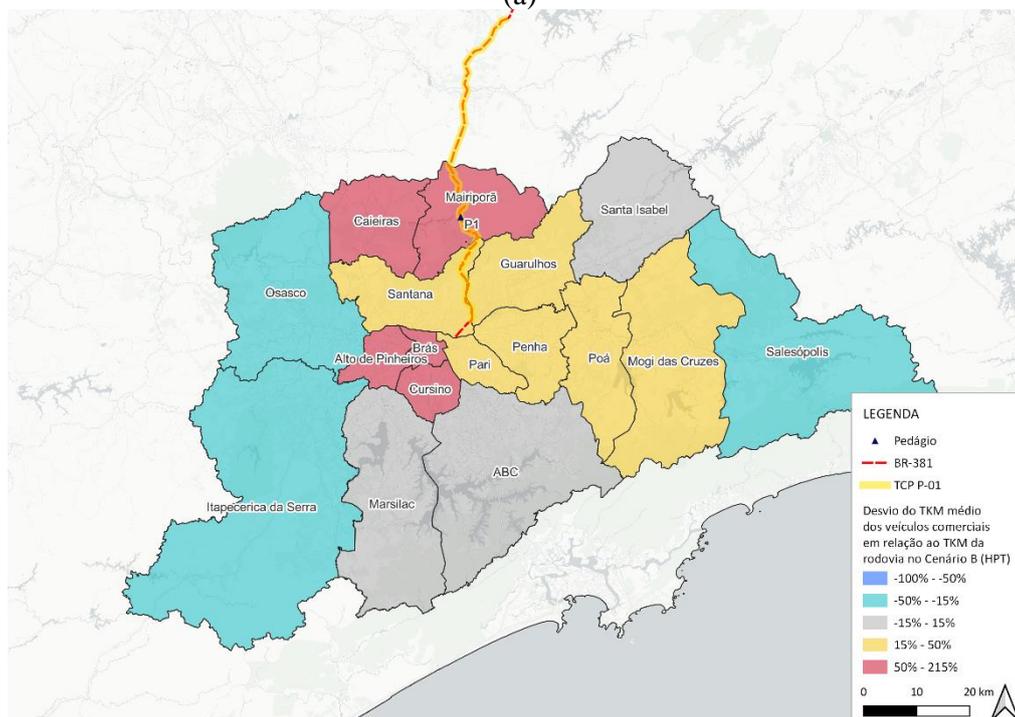
(b)

Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 179 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP no Cenário B na HPM (a) e na HPT (b)**



(a)



(b)

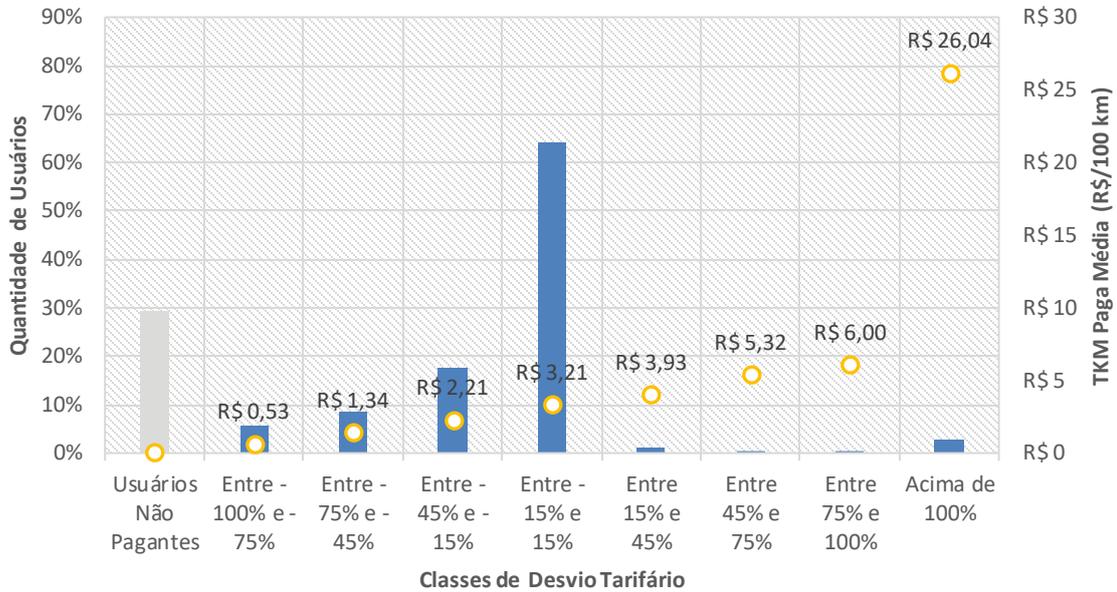
Fonte: Elaboração LOGIT

#### 6.2.2.2 RMBH

Na hora-pico manhã da RMBH, a iniquidade global dos veículos de passeio estimada foi de 1,66, e dos veículos comerciais de 1,28, e na hora-pico tarde, os resultados foram de 1,66 e 1,25, respectivamente para essas categorias, melhorando a situação dos veículos de passeio, e com

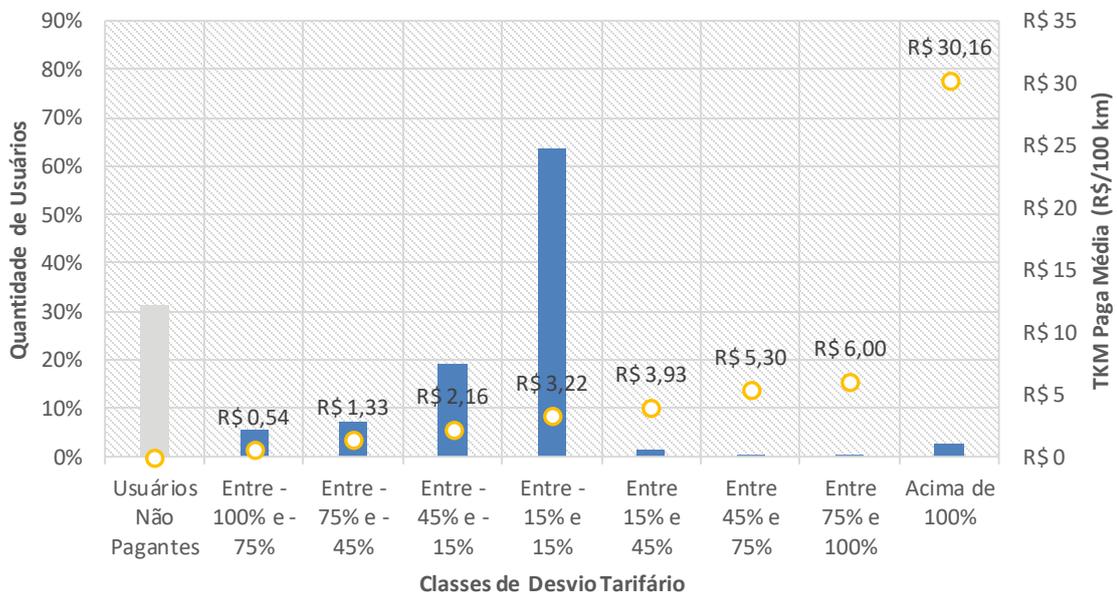
resultados próximos para os veículos comerciais, quando comparado ao cenário anterior. Em termos da visão dos usuários, vê-se uma queda expressiva na proporção de usuários não-pagantes, ainda maior que a apresentada no Cenário A, e uma melhor distribuição nas classes de desvio tarifário dos pagantes, em relação ao cenário base, com proporção acima de 60% dos usuários pagantes com desvios mínimos, em ambas as horas-pico.

**Figura 180 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08, para o Cenário B na HPM**



Fonte: Elaboração LOGIT

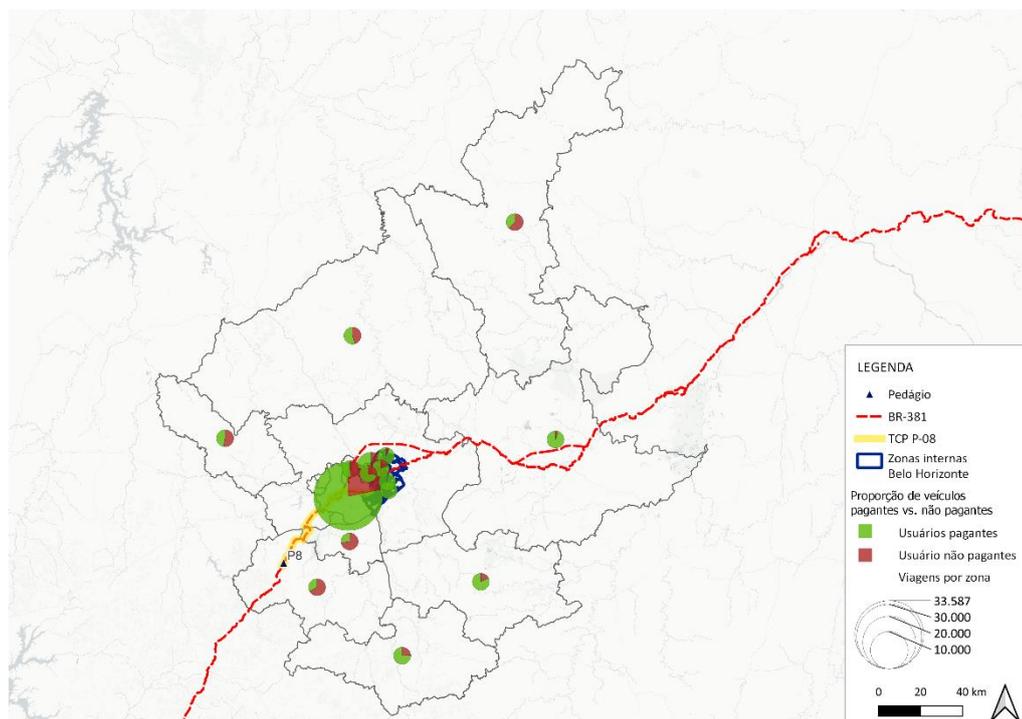
**Figura 181 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08, para o Cenário B na HPT**



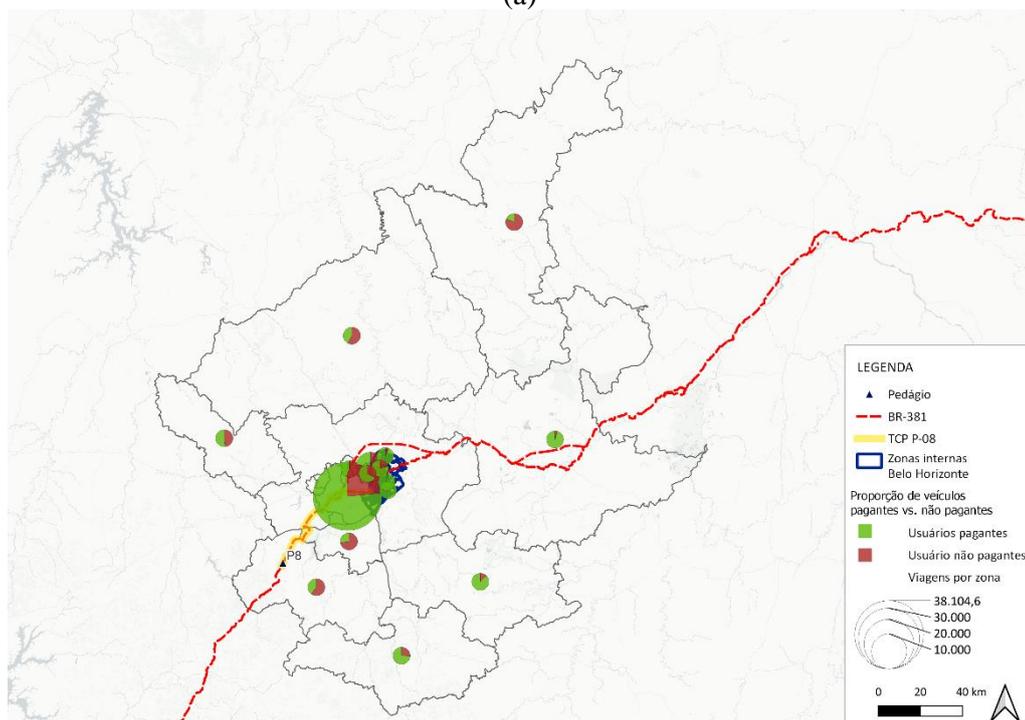
Fonte: Elaboração LOGIT

Especialmente, olhando para viagens com origem e/ou destino dentro da RMBH na Figura 182, observa-se como a proporção de usuários pagantes aumenta consideravelmente com relação ao cenário base e com relação ao cenário A.

**Figura 182 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens do Cenário B da RMBH na HPM (a) e HPT (b)**



(a)

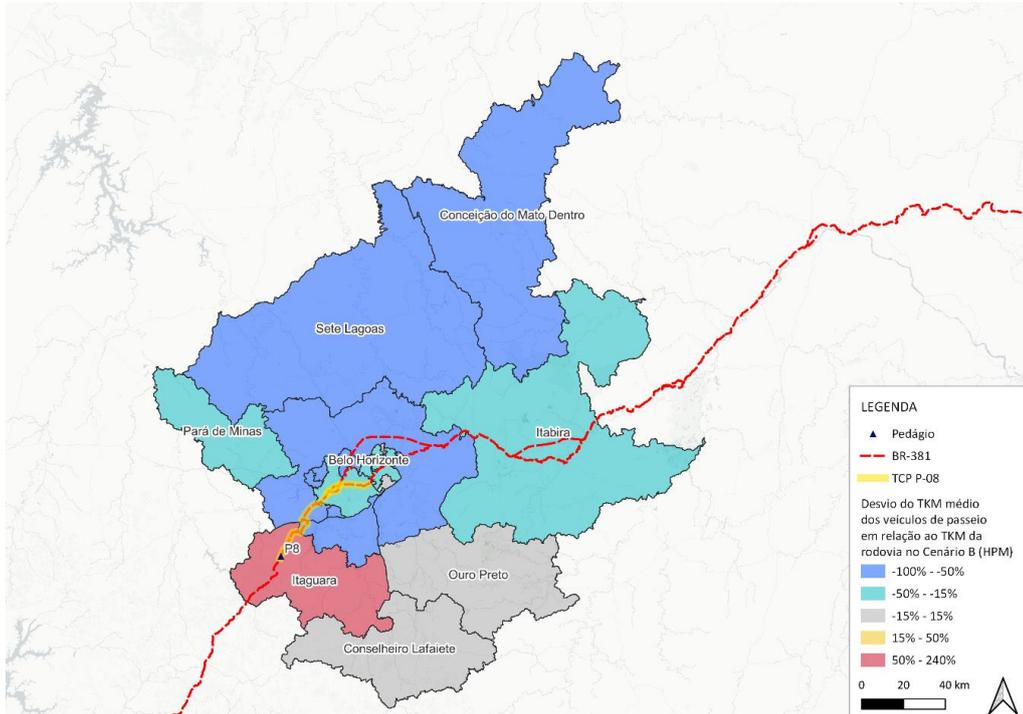


(b)

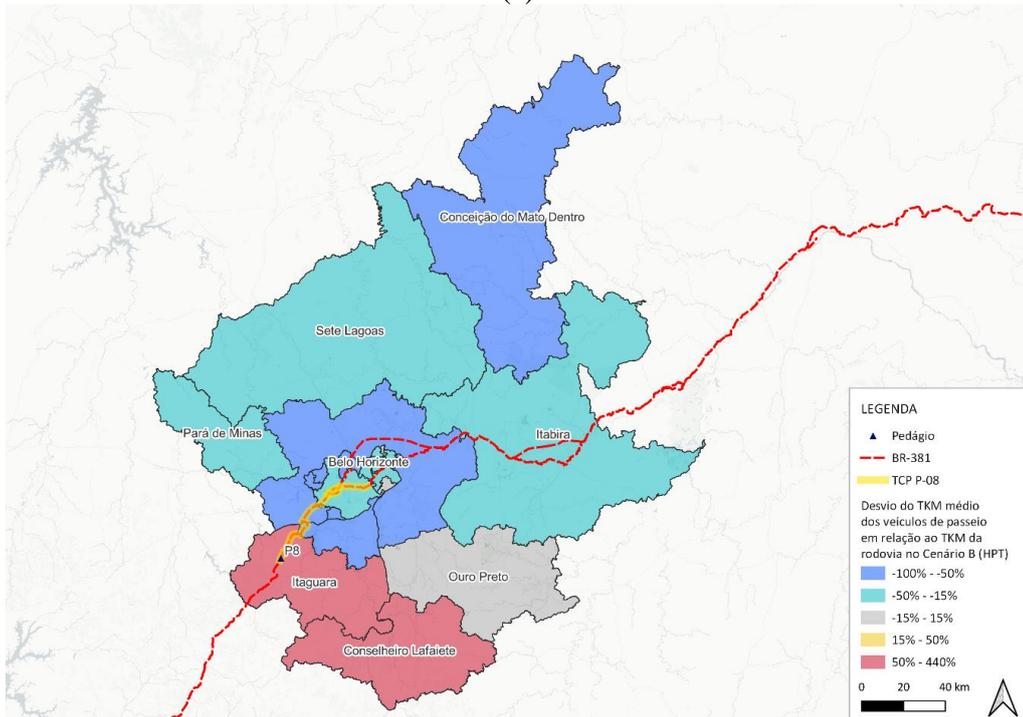
Fonte: Elaboração LOGIT

Quanto ao desvio da TKM (Figura 183 e Figura 184), a análise espacial permite observar um comportamento dos veículos de passeio, que realizam mais viagens curtas, com menores desvios em relação à TKM da concessão, em mais macrozonas do que no caso da situação atual e do cenário A.

**Figura 183 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH no Cenário B na HPM (a) e na HPT (b)**



(a)

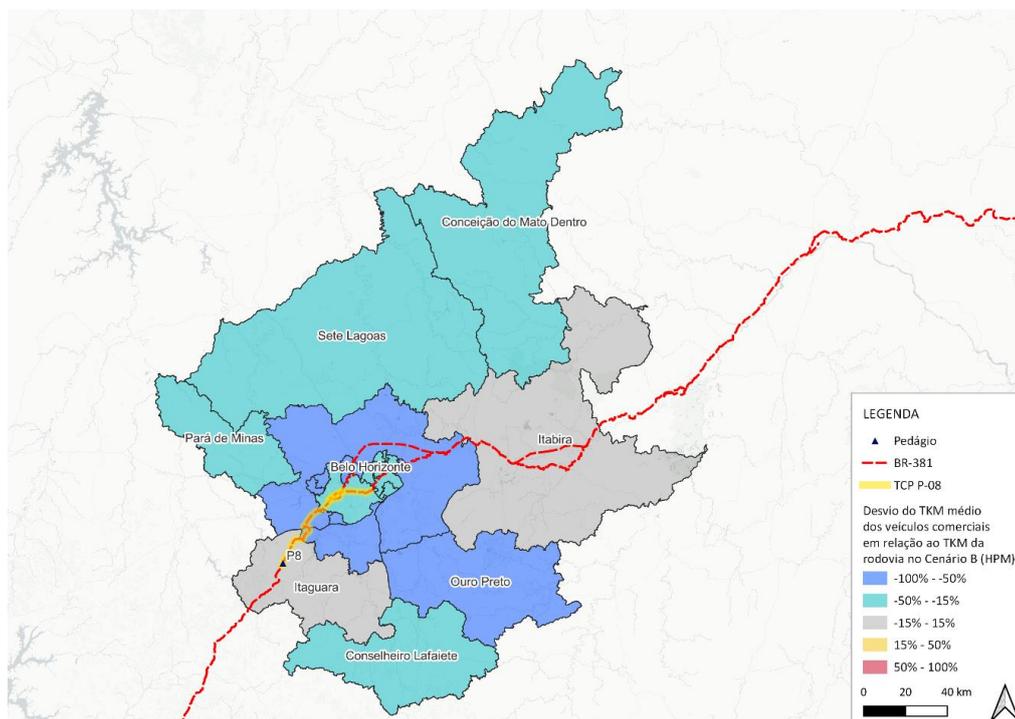


(b)

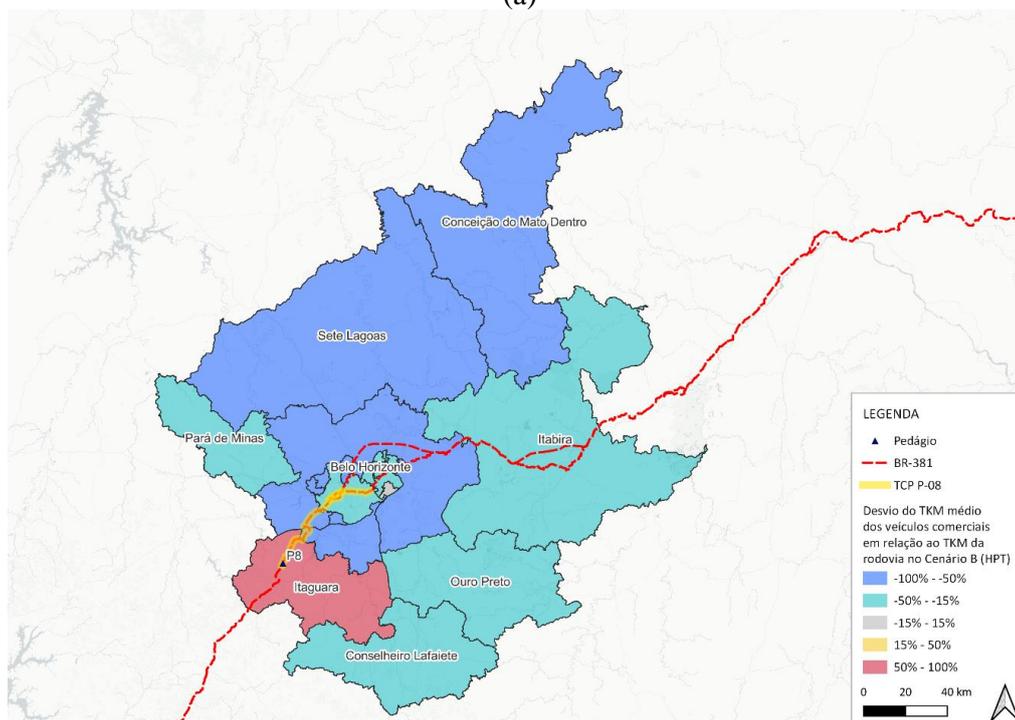
Fonte: Elaboração LOGIT

No caso dos veículos comerciais, no entanto, o comportamento não varia muito do resultado já exposto no cenário A.

**Figura 184 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH no Cenário B na HPM (a) e na HPT (b)**



(a)



(b)

Fonte: Elaboração LOGIT

### 6.2.3 Substituição Tecnológica (Cen C)

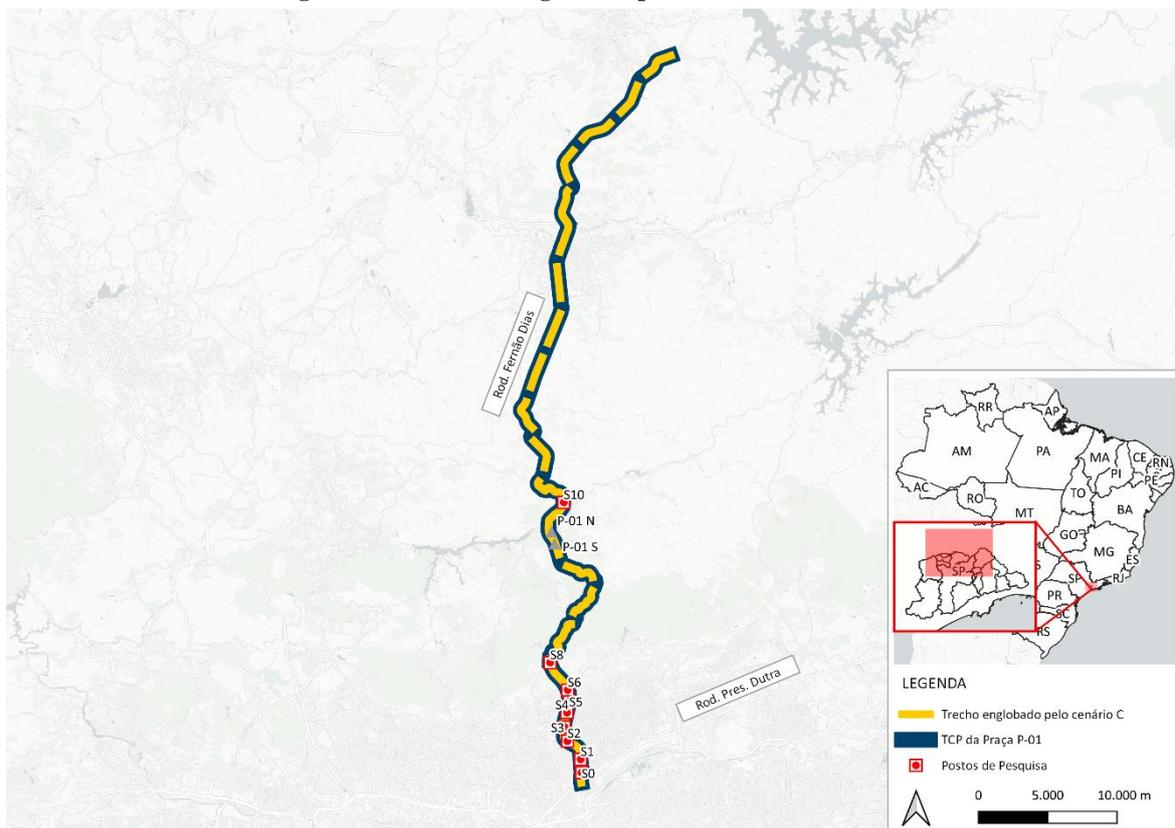
Por último, a substituição tecnológica consiste em tornar o sistema de praças de pedágio por bloqueio obsoleto, prevalecendo a cobrança exclusivamente eletrônica. Essa alternativa é sujeita a

maiores interrupções no sistema de arrecadação, devido às limitações tecnológicas e dificuldades de fiscalização (evasões), sendo mais aplicável a novas concessões e novos contratos do que a contratos de concessão em andamento, devido aos riscos associados. Corresponde ao cenário de total equidade, tanto do ponto de vista global (sistema de arrecadação) quanto do ponto de vista local (a nível usuário).

Com base nos resultados apresentados na análise de iniquidade (Capítulo 5.2.1.3), a substituição tecnológica tende a gerar ganhos de momento de transporte captado – e, assim, de potencial de geração de receita adicional – em apenas uma das regiões metropolitanas (a RMBH). Em termos de redução da iniquidade entre usuários, tende a endereçar amplamente a origem do problema, aumentando a base de usuários pagantes e reduzindo distorções. Ainda, essa mostra indícios de se tratar de uma intervenção mais extensiva, mas sem aumento proporcional de sua efetividade, face às demais.

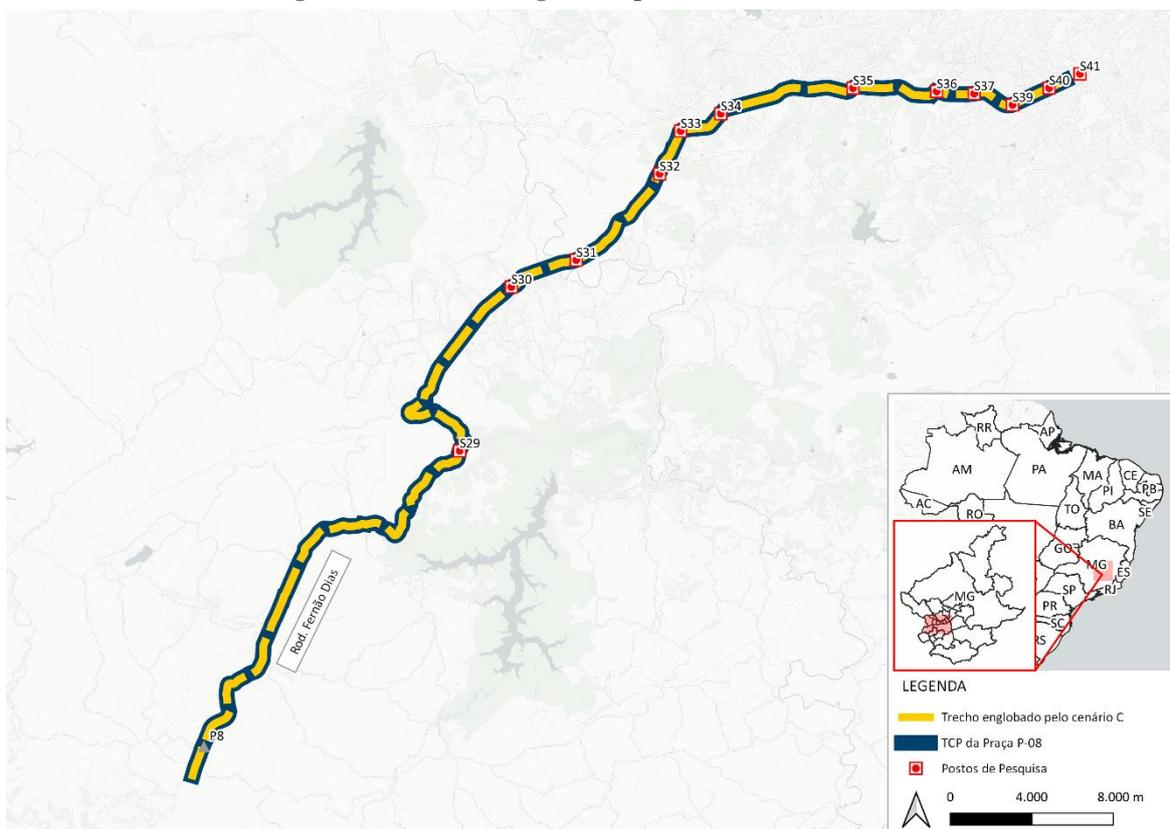
A Figura 185 e a Figura 186 mostram os trechos com cobrança via *free-flow* no cenário C, para as regiões metropolitanas de São Paulo e Belo Horizonte, respectivamente, que envolvem todo o trecho de TCP das praças de pedágio P-01 e P-08 (totalizando 70,225 km de extensão).

**Figura 185 – Trecho englobado pelo cenário C na RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 186 – Trecho englobado pelo cenário C na RMBH**

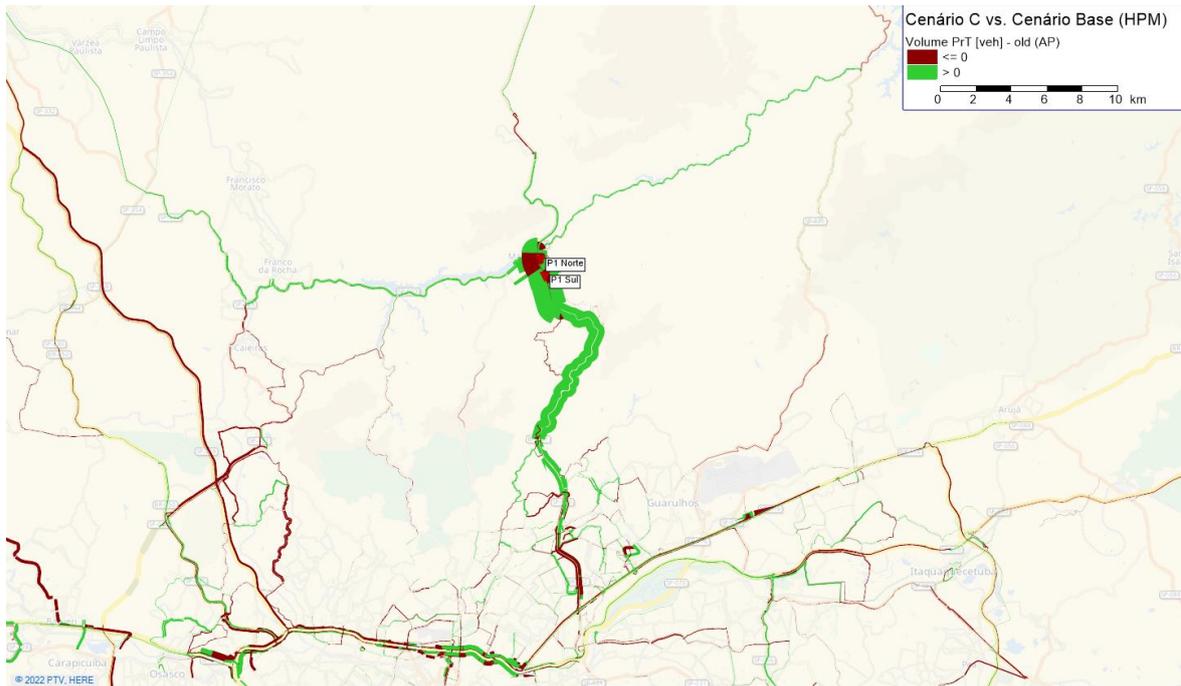


Fonte: Elaboração LOGIT

### 6.2.3.1 Tráfego

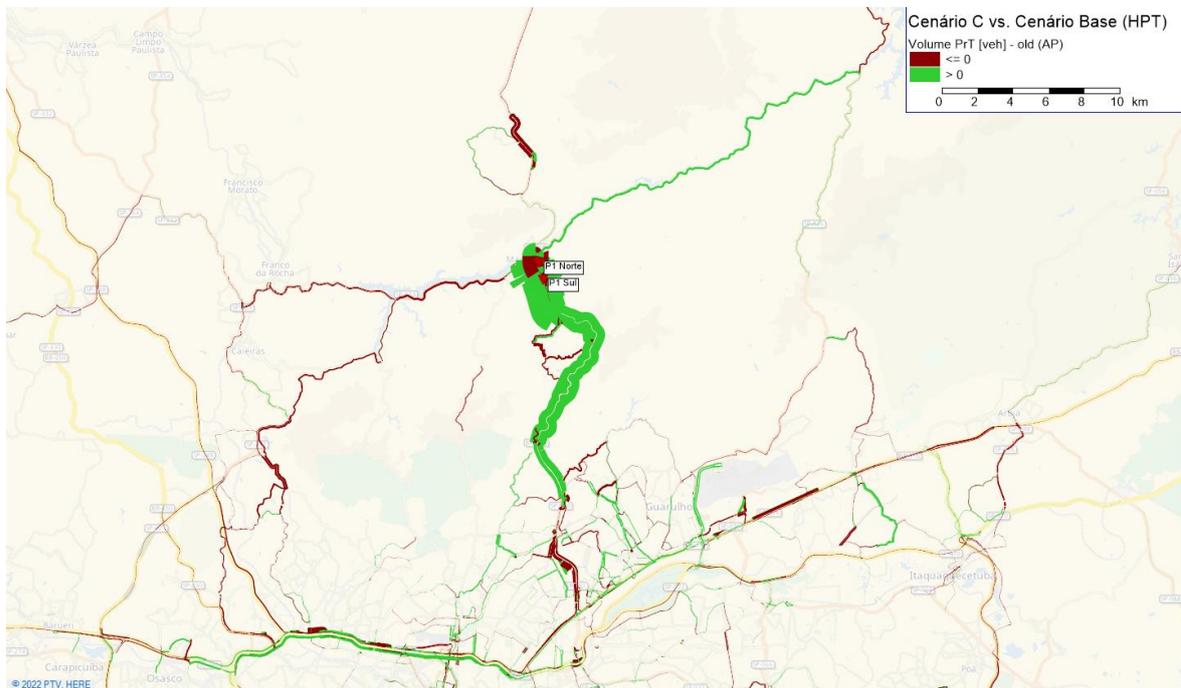
A comparação do carregamento das vias no cenário com o carregamento na situação atual permite observar os efeitos da modificação na cobrança tarifária. Na região próxima às praças de pedágio, há um ganho de tráfego, dado que o valor cobrado pela passagem nesse trecho diminui para viagens curtas. Nos demais trechos da concessão, próximos à chegada da rodovia às capitais, no entanto, o surgimento da cobrança resulta na fuga de alguns usuários para vias locais, dada a maior capilaridade da rede viária nessas regiões.

**Figura 187 – Comparação do carregamento da rede de RMSP no Cenário C, com relação ao Cenário Base, na HPM**



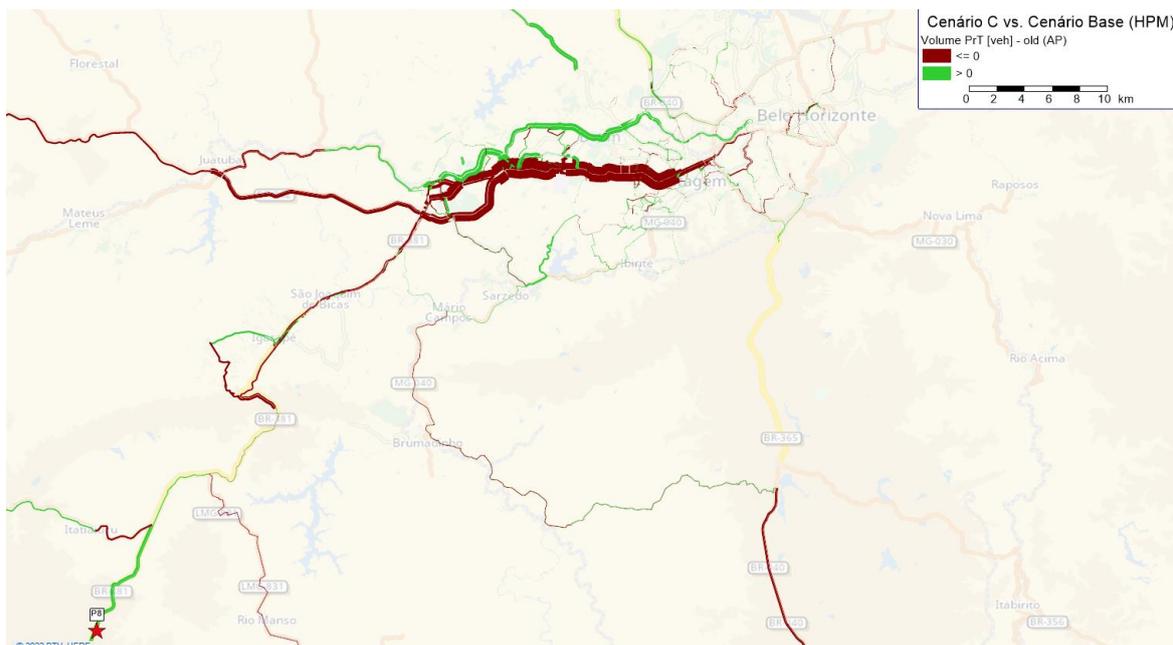
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 188 – Comparação do carregamento da rede de RMSP no Cenário C, com relação ao Cenário Base, na HPT**



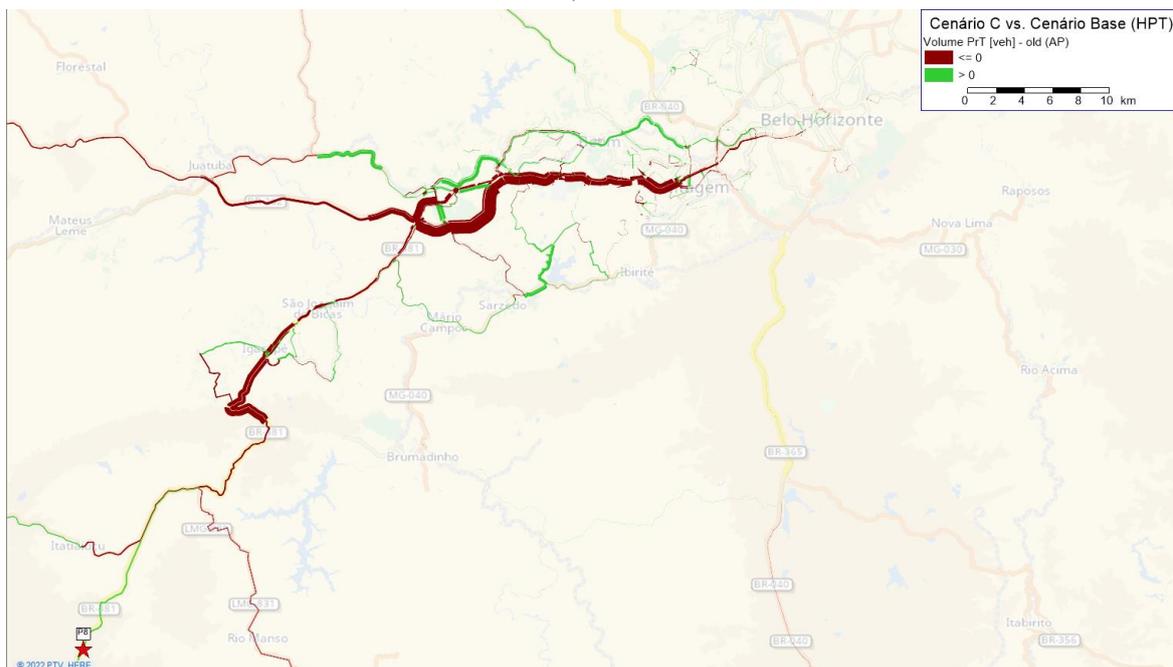
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 189 – Comparação do carregamento da rede de RMBH no Cenário C, com relação ao Cenário Base, na HPM**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 190 – Comparação do carregamento da rede de RMBH no Cenário C, com relação ao Cenário Base, na HPT**

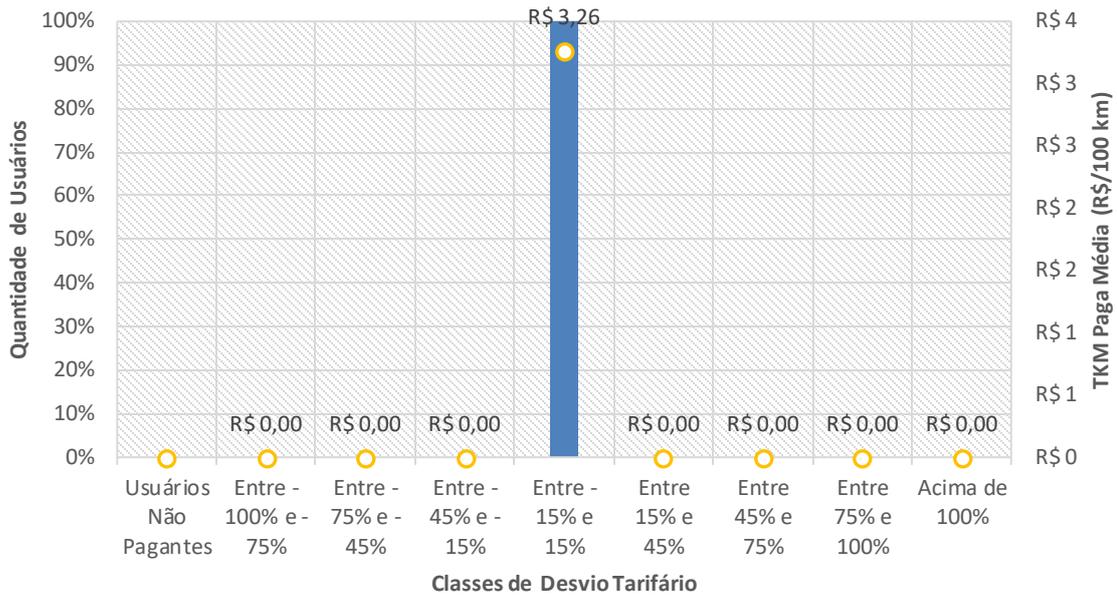


Fonte: Elaboração LOGIT

### 6.2.3.2 Iniquidade

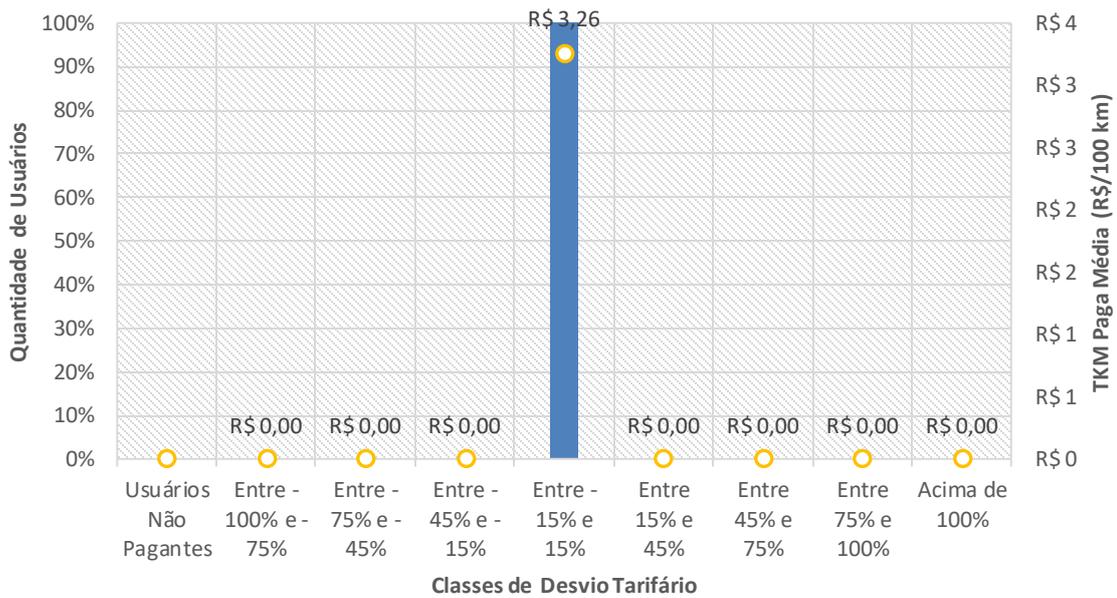
No cenário C, por construção, a iniquidade resulta em 1,00 em ambas as regiões metropolitanas, tanto para veículos de passeio quanto para comerciais, em ambas as horas-pico, dado que todo o trecho da TCP das praças de pedágio é cobrado via *free-flow*. Sendo assim, não há usuários não-pagantes, e todos os usuários da via apresentam desvio de 0% em relação à TKM da rodovia.

**Figura 191 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-01, para o Cenário C na HPM**



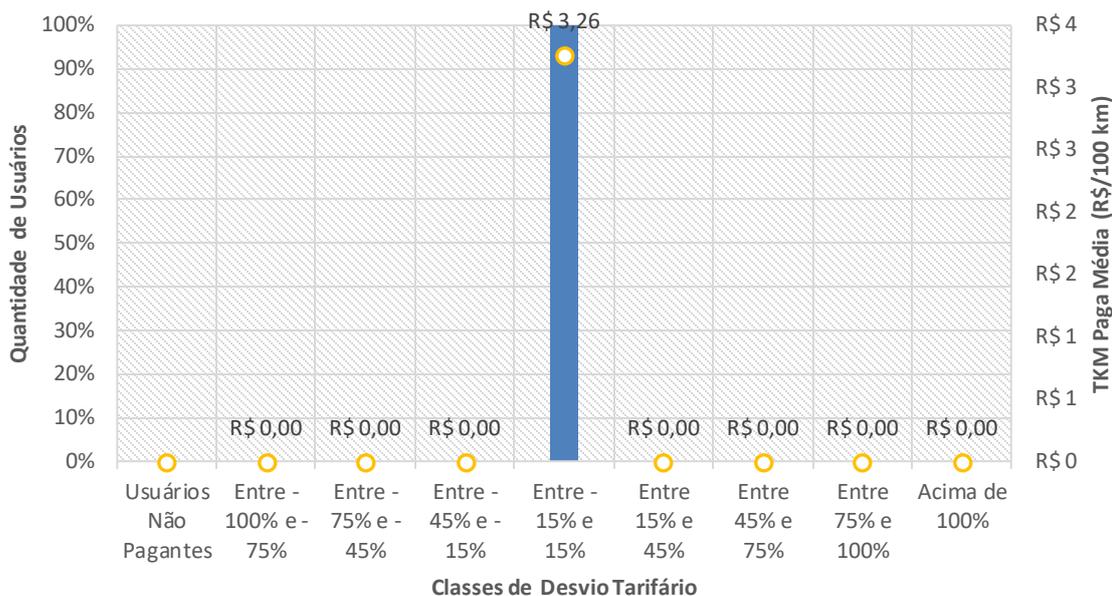
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 192 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-01, para o Cenário C na HPM**



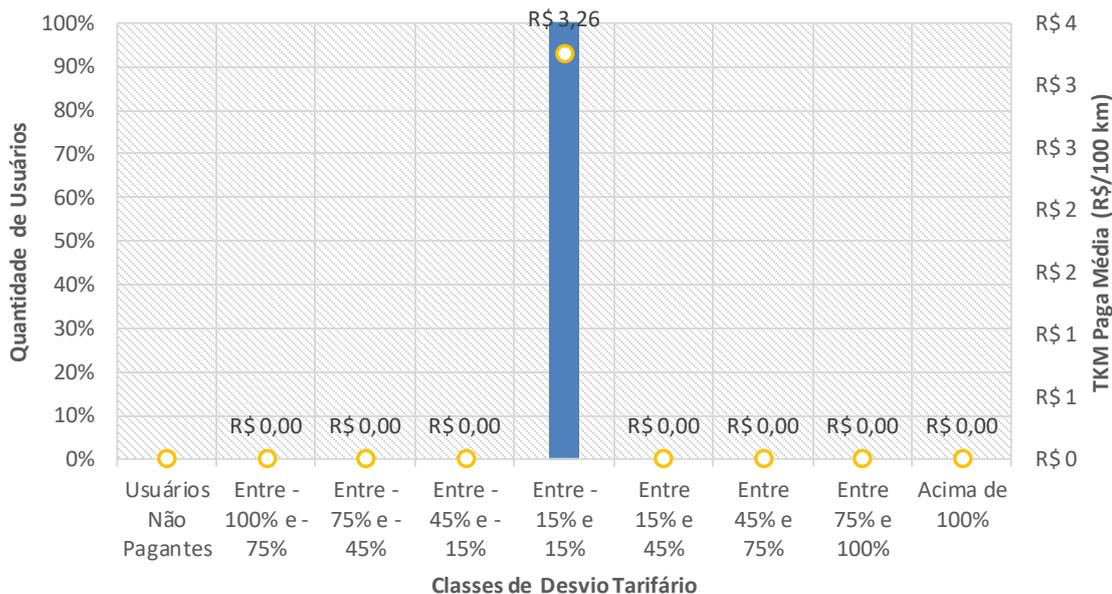
Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 193 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08, para o Cenário C na HPM**



Fonte: Elaboração LOGIT

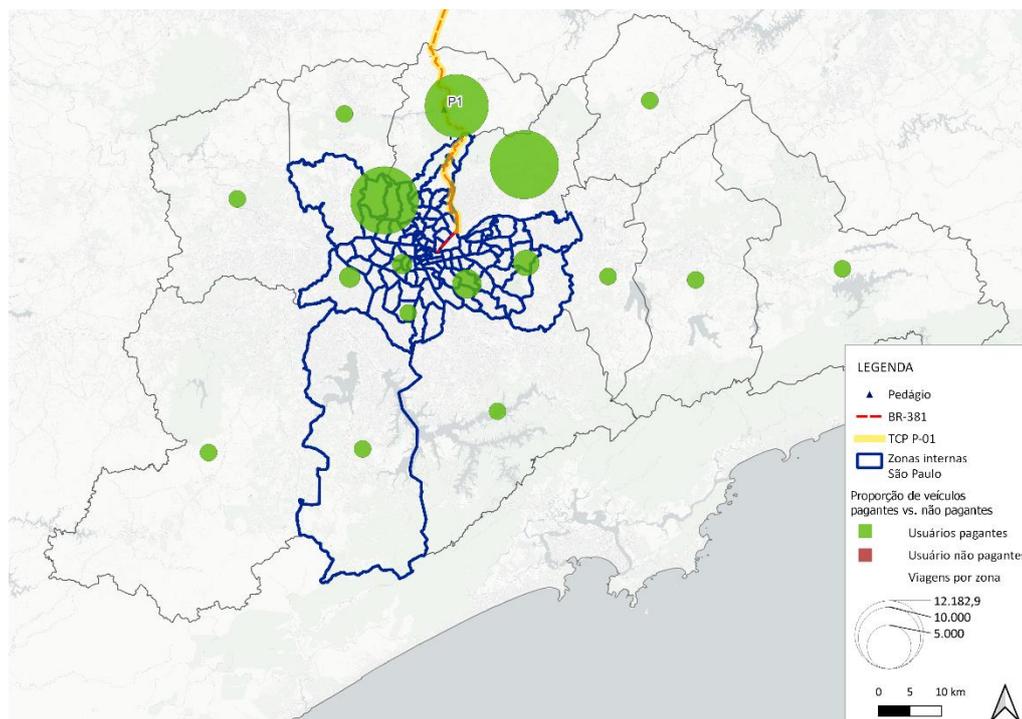
**Figura 194 – Desvios tarifários dos usuários que pagam pedágio no P-08, para o Cenário C na HPT**



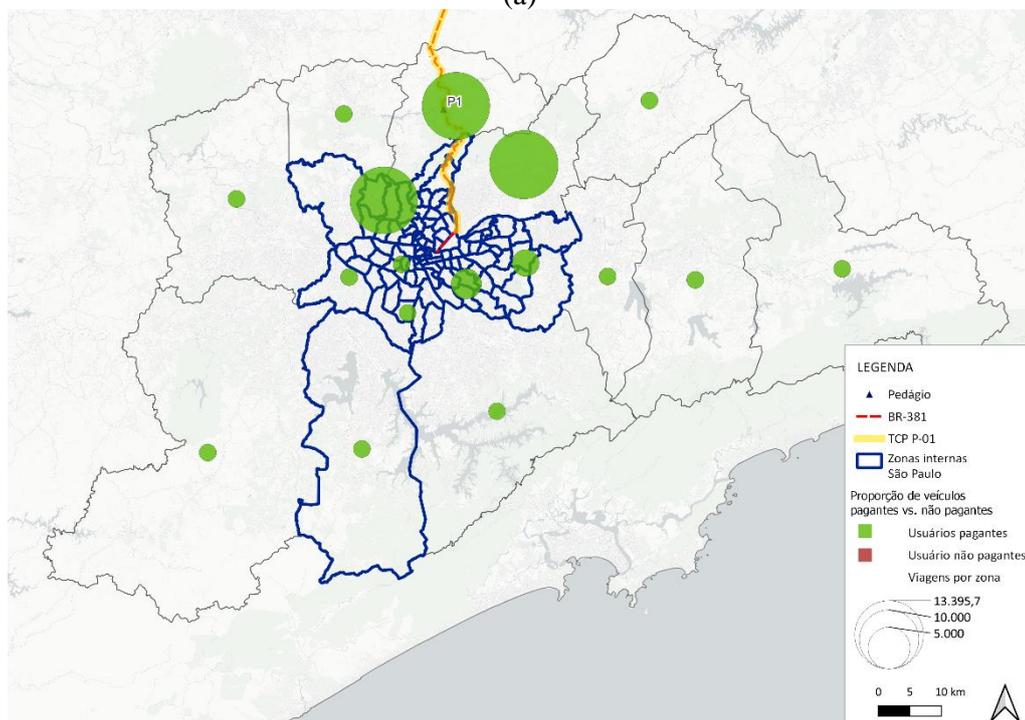
Fonte: Elaboração LOGIT

Especialmente, olhando para viagens com origem e/ou destino dentro da RMSP na Figura 195 e da RMBH na Figura 196, observa-se a totalidade das macrozonas com 100% dos usuários pagantes, e com desvio nulo em relação à TKM da rodovia, em ambas as horas-pico (Figura 197, Figura 198, Figura 199 e Figura 200).

Figura 195 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens do Cenário C da RMSP na HPM (a) e HPT (b)



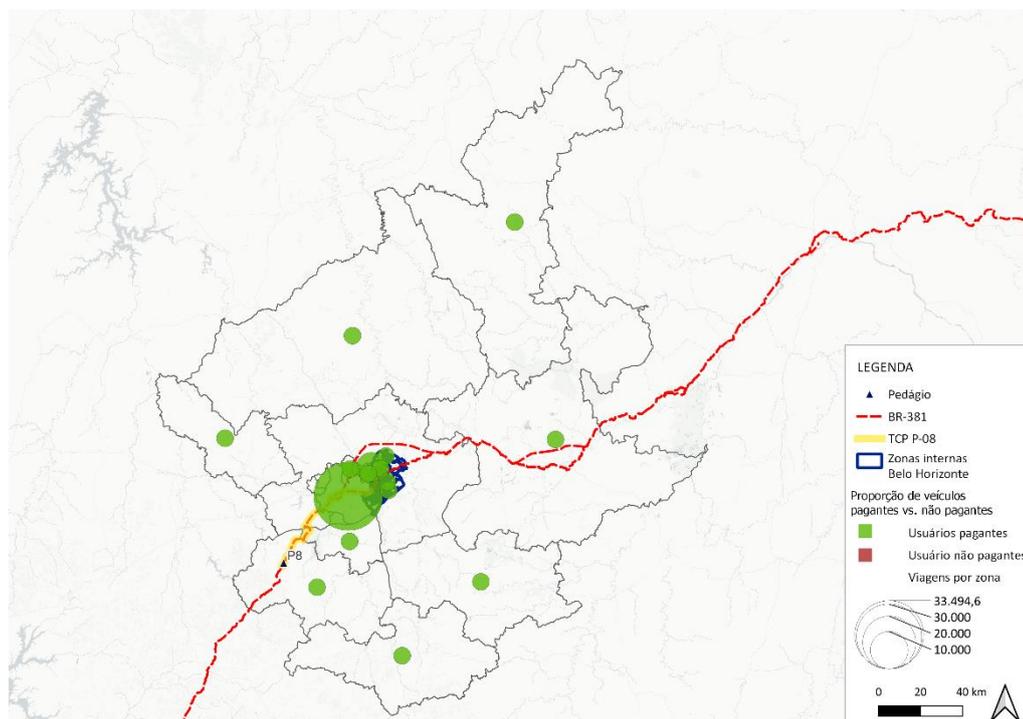
(a)



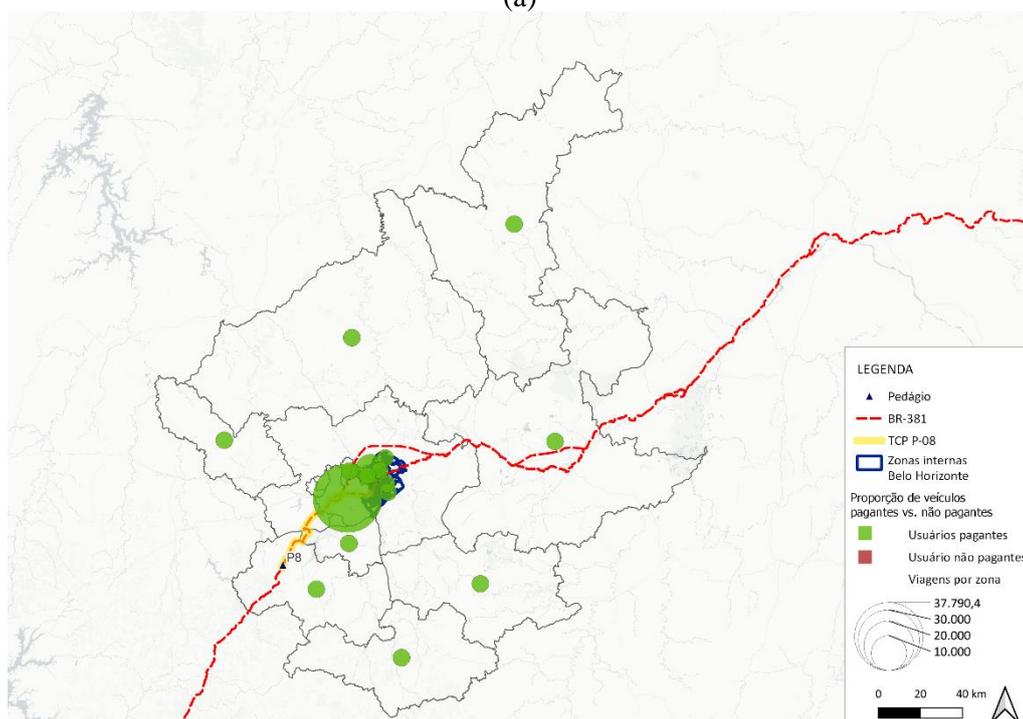
(b)

Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 196 – Proporção de veículos pagantes vs. não pagantes nas viagens do Cenário C da RMBH na HPM (a) e HPT (b)**



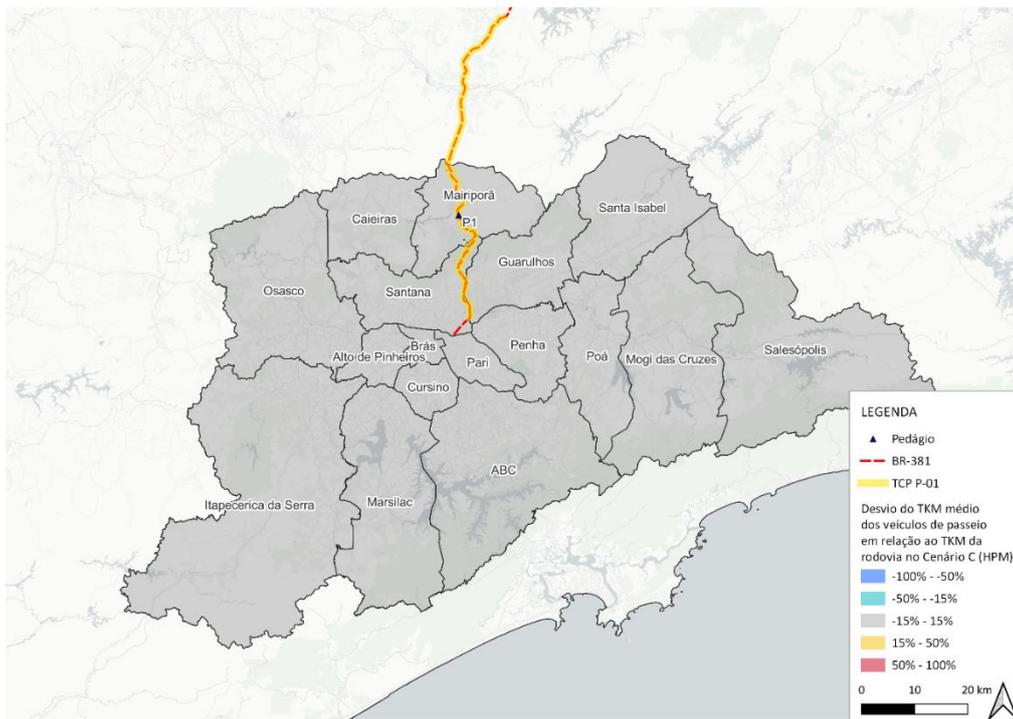
(a)



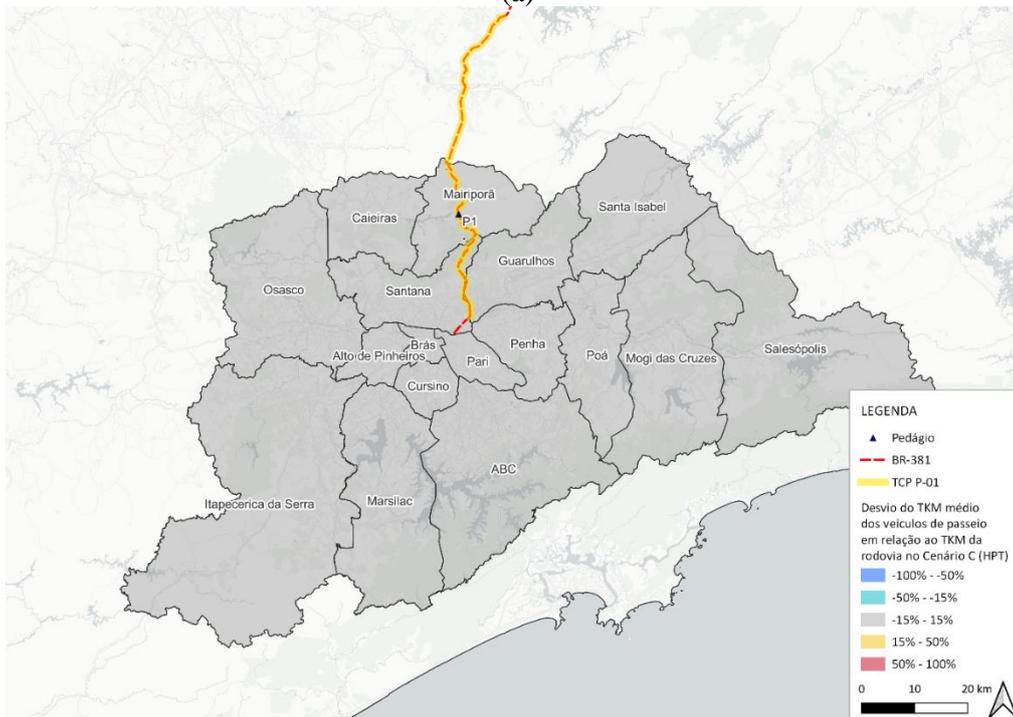
(b)

Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 197 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP no Cenário C na HPM (a) e na HPT (b)**



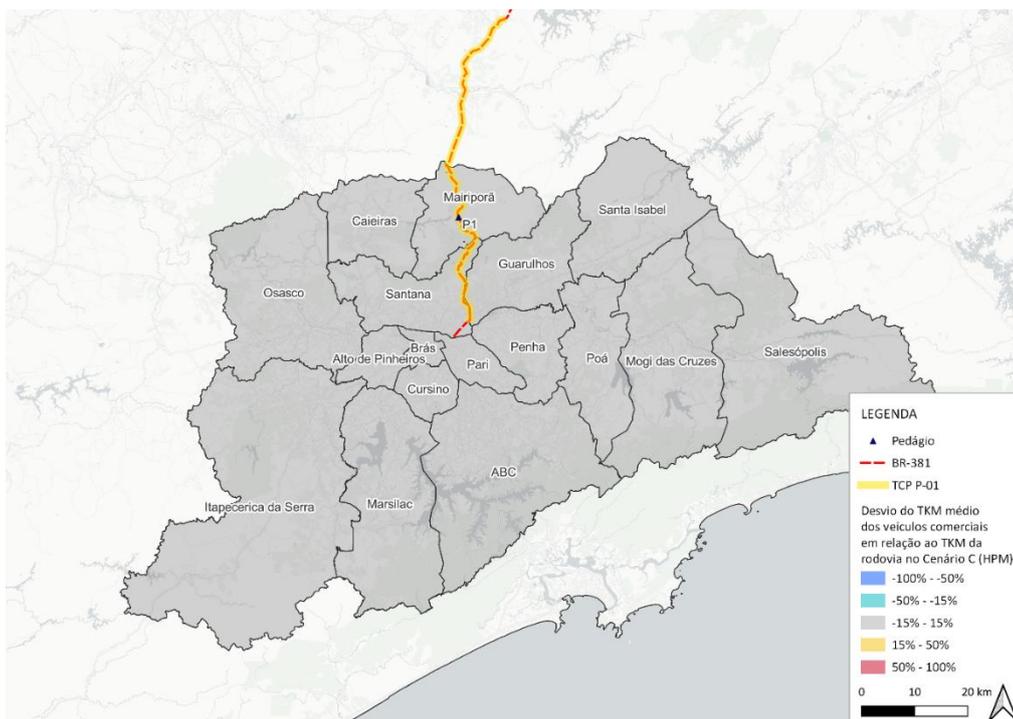
(a)



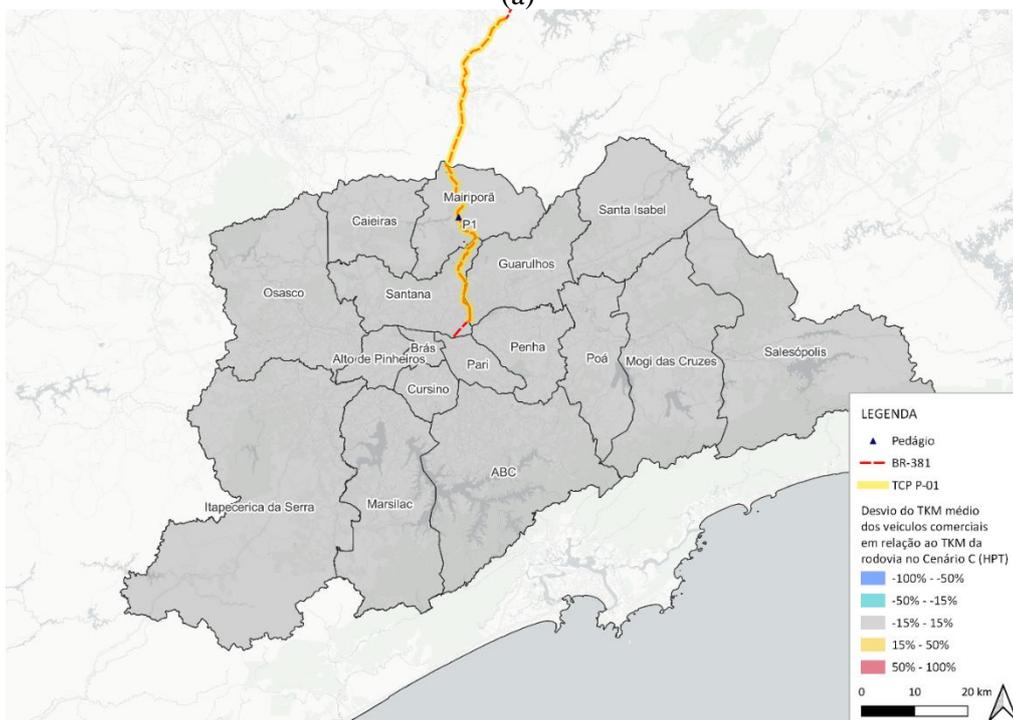
(b)

Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 198 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMSP no Cenário C na HPM (a) e na HPT (b)**



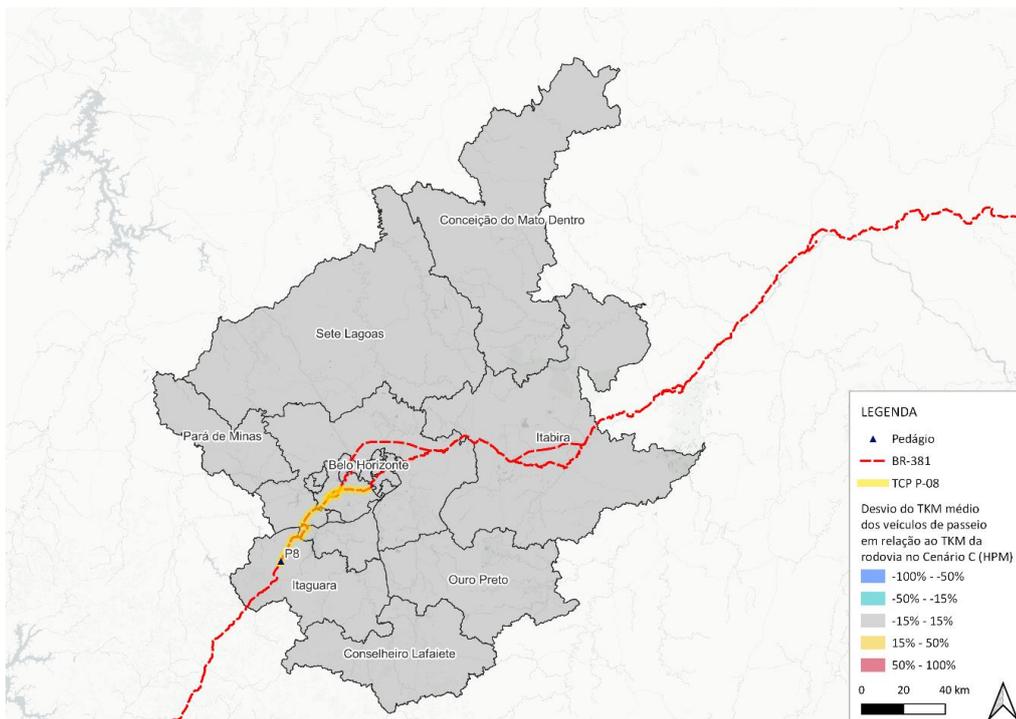
(a)



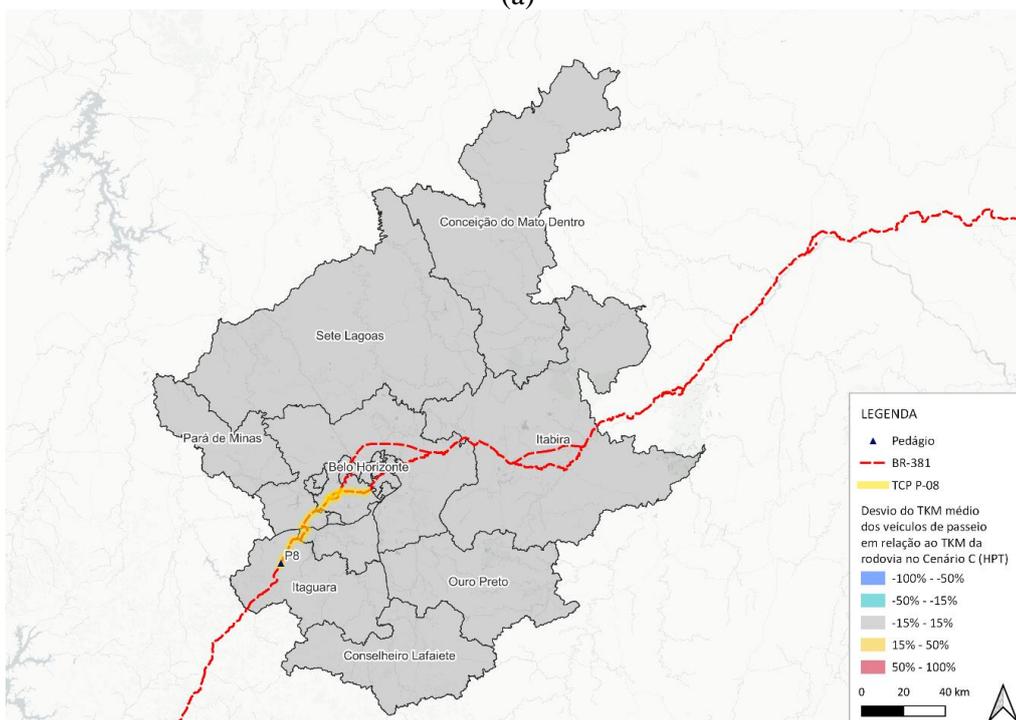
(b)

Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 199 – Desvio do TKM médio dos veículos de passeio em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH no Cenário C na HPM (a) e na HPT (b)**



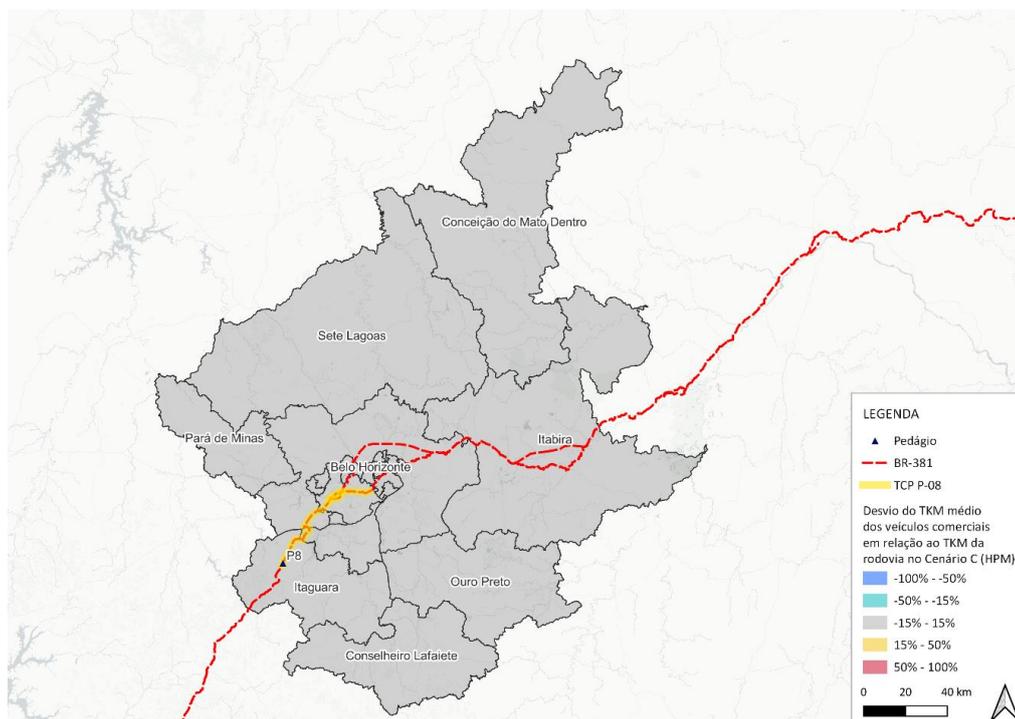
(a)



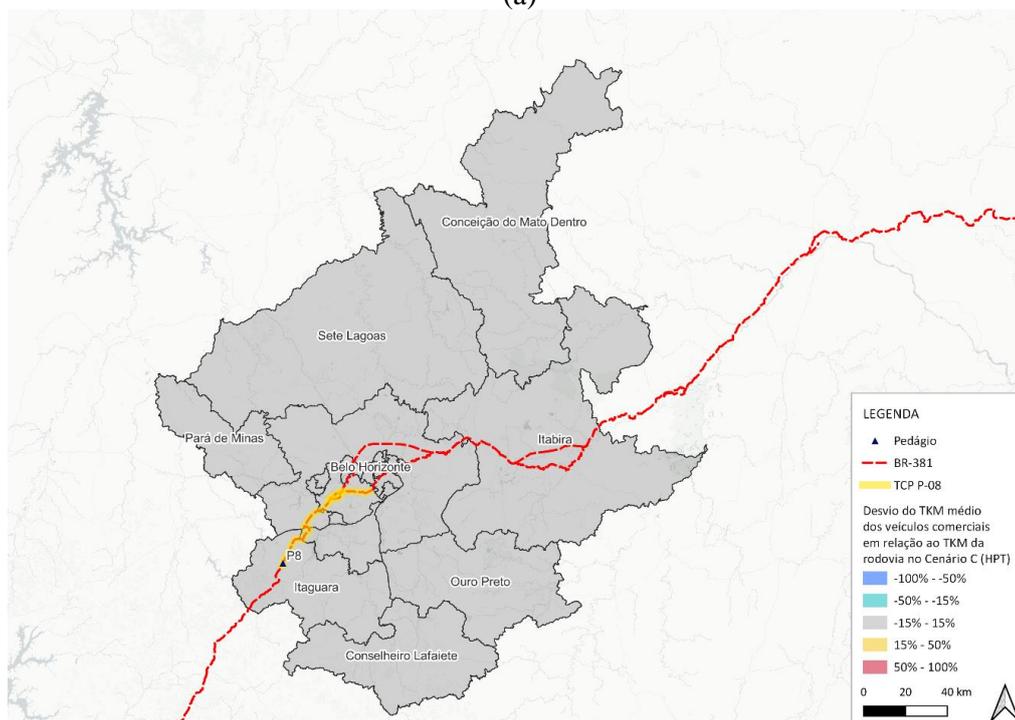
(b)

Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 200 – Desvio do TKM médio dos veículos comerciais em relação ao TKM da rodovia por macrozona da RMBH no Cenário C na HPM (a) e na HPT (b)**



(a)



(b)

Fonte: Elaboração LOGIT

### 6.3 Resultados

Neste capítulo serão detalhados os resultados obtidos nas simulações dos três cenários levantados. No item 6.3.1, serão apresentados os carregamentos resultantes, com relação a volumes

horários nos períodos de análise (horas-pico do dia útil típico médio), sendo traduzidos para VDMA no último item do capítulo. Em seguida, no item 6.3.2 são apresentadas as premissas consideradas na obtenção da projeção de receita a partir dos resultados obtidos para os períodos de análise, além da própria projeção de receita para o horizonte da concessão.

Destaca-se que a tarifa quilométrica considerada para fins de simulação é equivalente a tarifa quilométrica da Rodovia Fernão Dias:  $0,0326 \frac{R\$}{km}$ , lembrando que no Cenário A é cobrado no trecho de *free-flow* o dobro dessa tarifa quilométrica. Além do pedagiamento trecho-a-trecho nas diferentes configurações descritas no item 6.2, serão consideradas as intervenções apresentadas no item 6.1 implementadas. Em termos de demanda, os resultados apresentados consideram a demanda estimada para o Ano Base.

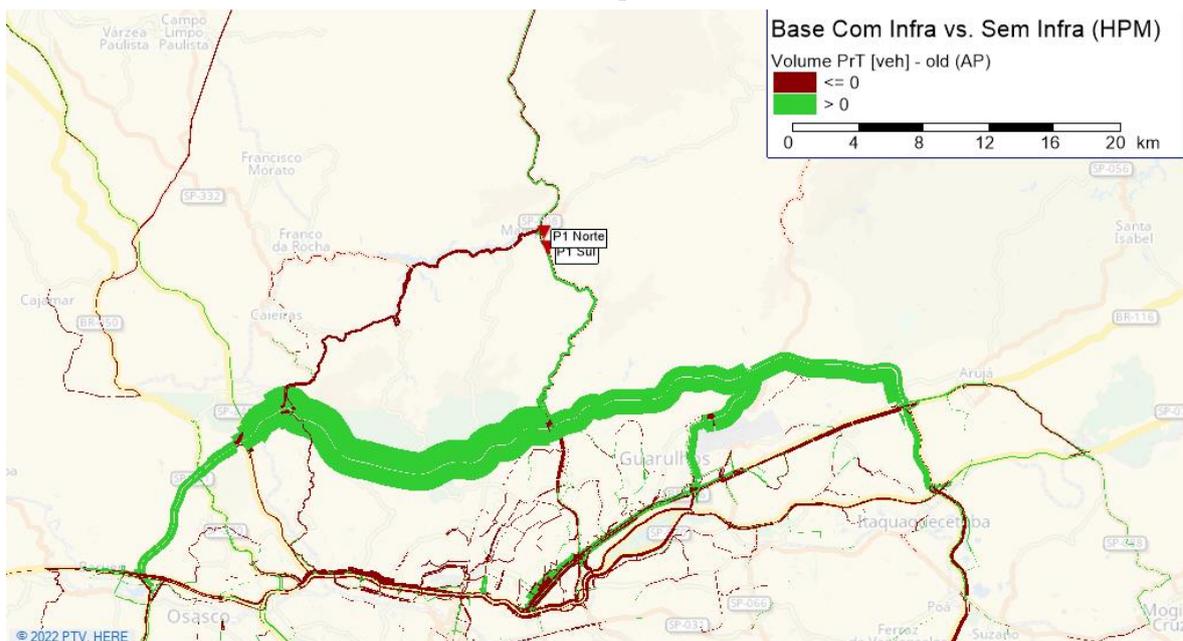
### 6.3.1 Tráfego

Neste item são apresentadas as comparações do tráfego nos cenários considerados com relação ao cenário base. As comparações apresentadas neste item diferem das apresentadas no capítulo 6.2 por conta da consideração, neste capítulo, das futuras obras de infraestrutura listadas no item 6.1.

#### 6.3.1.1 Hora-Pico Manhã

Ao considerar as obras de infraestrutura futuras na RMSP na hora-pico manhã, observa-se uma movimentação na rede, que passa a comportar um grande volume de veículos no trecho do rodoanel norte. A praça de pedágio P-01 ganha cerca de 21% de volume no sentido sul, porém perde cerca de 6% no sentido norte, devido a essas movimentações e devido ao comportamento dos usuários nesse período na região metropolitana.

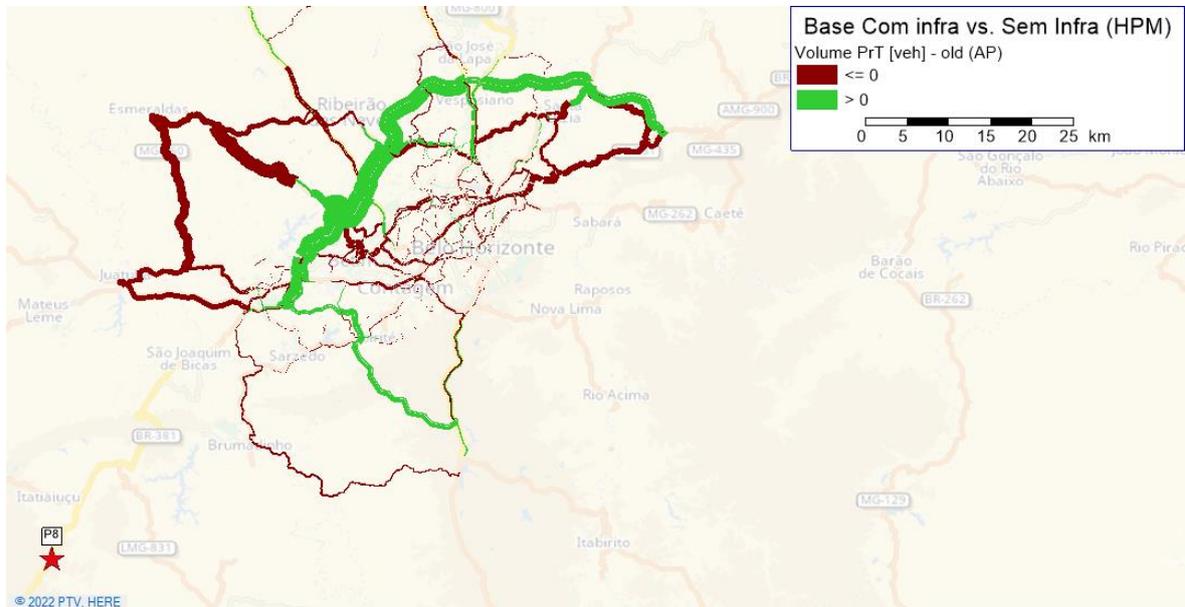
**Figura 201 – Comparação da rede de RMSP no cenário base com infraestrutura vs. sem infraestrutura futura na hora-pico manhã**



Fonte: Elaboração LOGIT

Na RMBH, a modificação na rede se dá com a inserção do trecho de rodoanel na região, que atrai veículos, reduzindo o tráfego em vias alternativas. A praça de pedágio P-08 não sofre modificações quanto ao número de veículos captados.

**Figura 202 – Comparação da rede de RMBH no cenário base com infraestrutura vs. sem infraestrutura futura na hora-pico manhã**

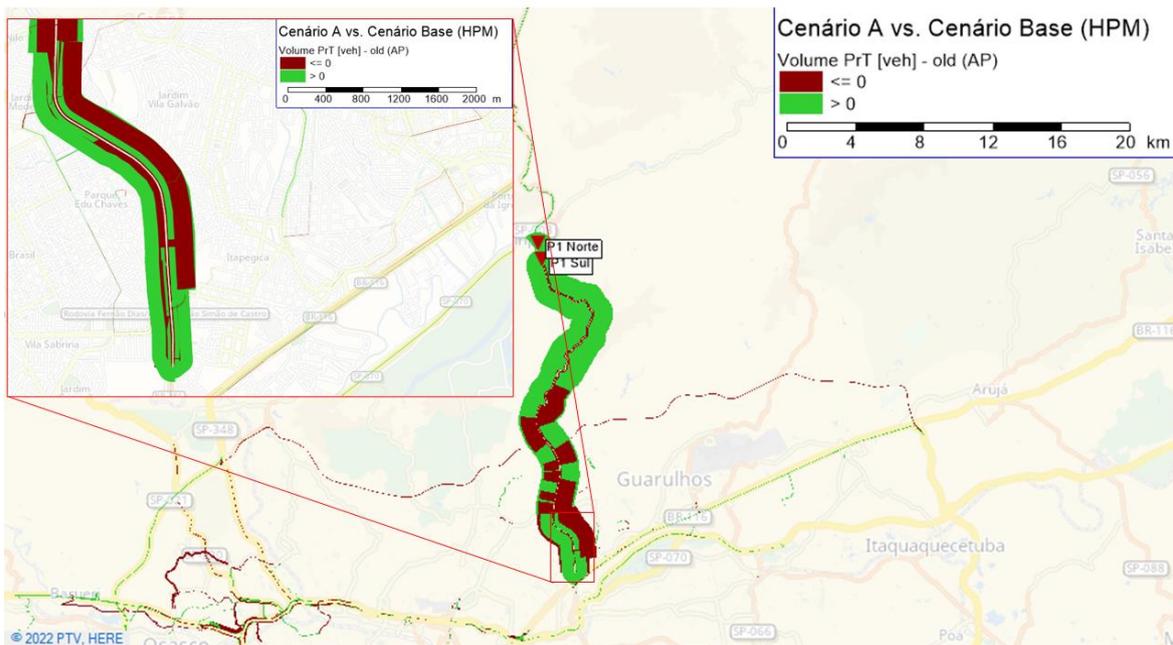


Fonte: Elaboração LOGIT

### 6.3.1.1.1 Sistema Complementar (Cen A)

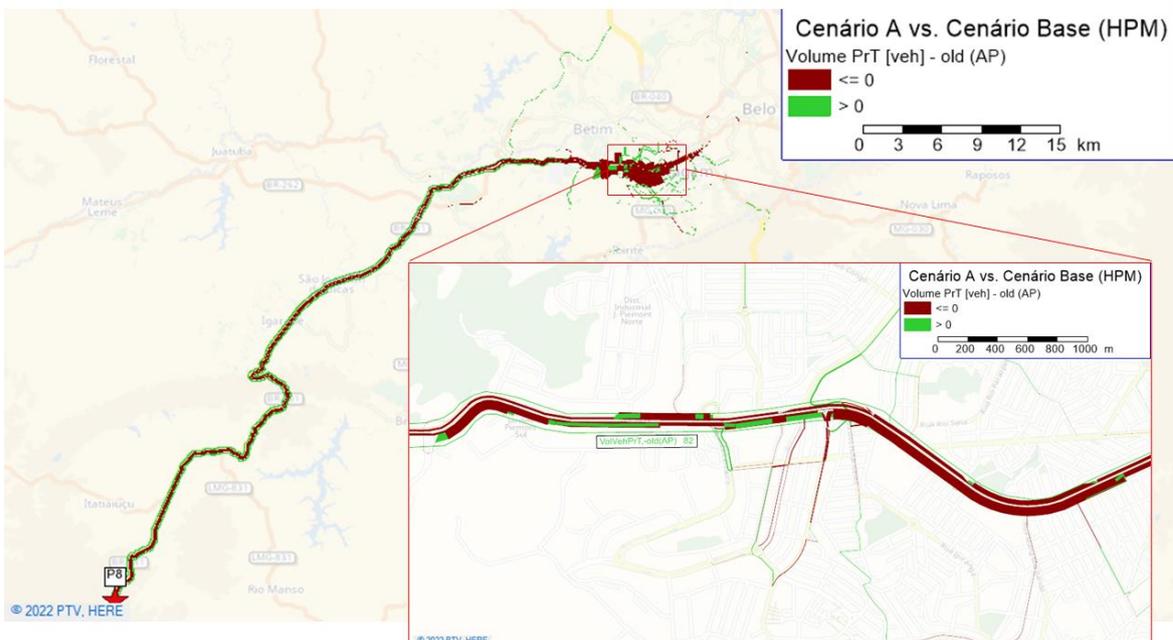
A Figura 203 e a Figura 204 mostram a comparação do Cenário A com o Cenário Base com as obras de infraestrutura futuras na hora-pico manhã. Novamente, as barras verdes mais externas ao longo da rodovia Fernão Dias representam o fluxo na pista expressa que passa pela Praça de Pedágio – e, portanto, não é submetido à cobrança trecho a trecho. Ao longo do trecho de cobrança *free-flow*, observa-se um aumento de tráfego nas vias marginais, uma alternativa ao pedagiamento.

**Figura 203 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMSP no Cenário A com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 204 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMBH no Cenário A com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras**

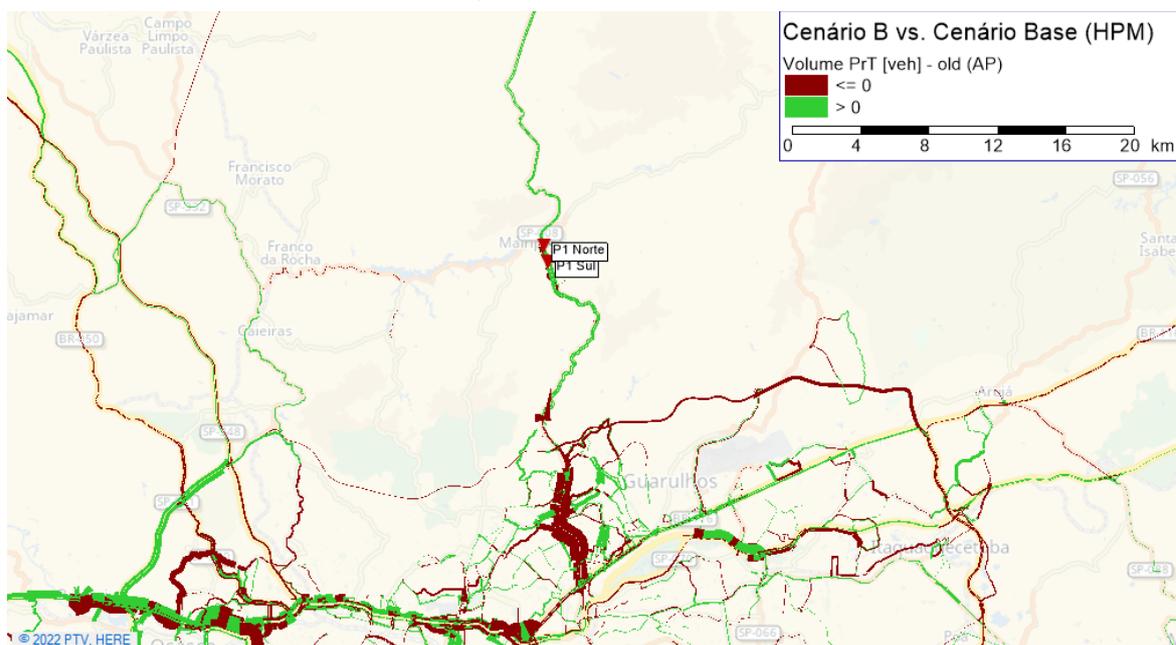


Fonte: Elaboração LOGIT

### 6.3.1.1.2 Sistema Híbrido (Cen B)

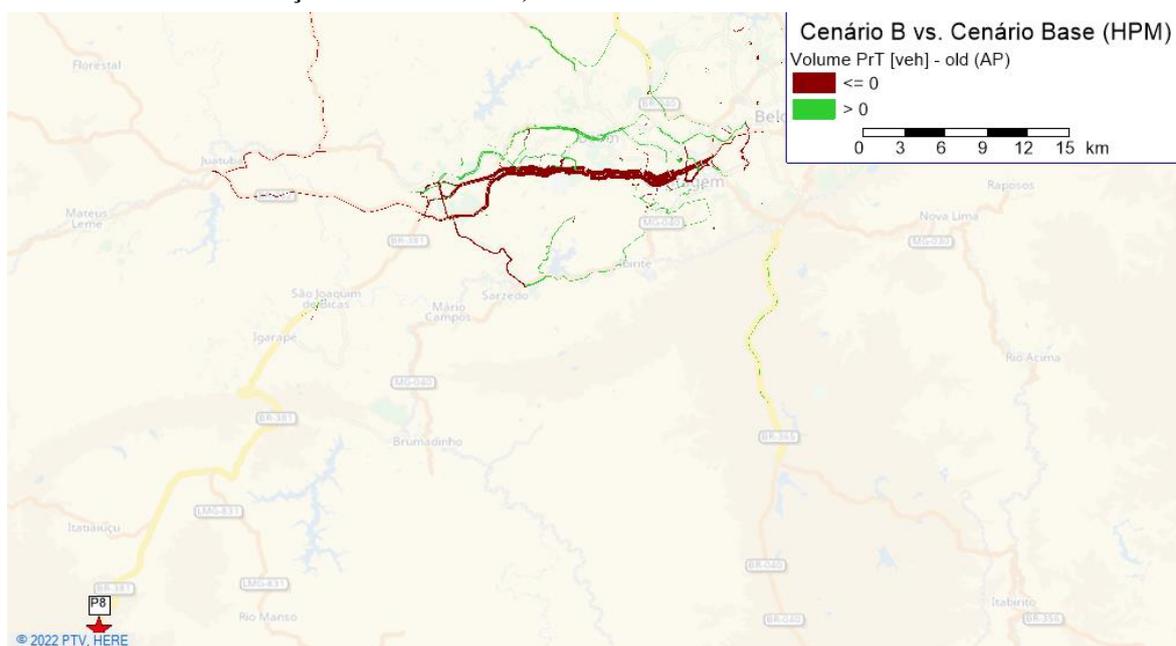
Na Figura 205 e na Figura 206 são apresentadas as comparações do Cenário B com o Cenário Base na hora-pico manhã, com as obras de infraestrutura futuras. Observa-se uma diminuição de tráfego no trecho sujeito à cobrança *free-flow*, com ganhos nas vias locais “paralelas”, que servem como alternativa à cobrança. Na RMSP, a praça de pedágio ganha carregamento, devido à diminuição de sua tarifa. Já na RMBH, não são vistos efeitos dessa diminuição no tráfego na praça.

**Figura 205 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMSP no Cenário B com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 206 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMBH no Cenário B com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras**

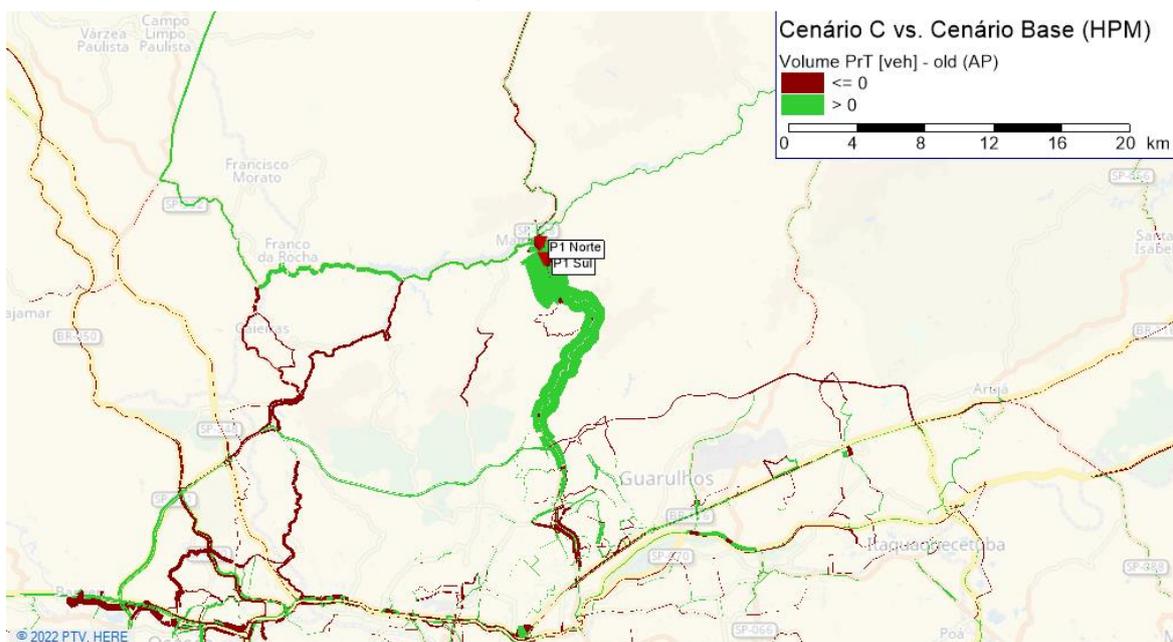


Fonte: Elaboração LOGIT

### 6.3.1.1.3 Substituição Tecnológica (Cen C)

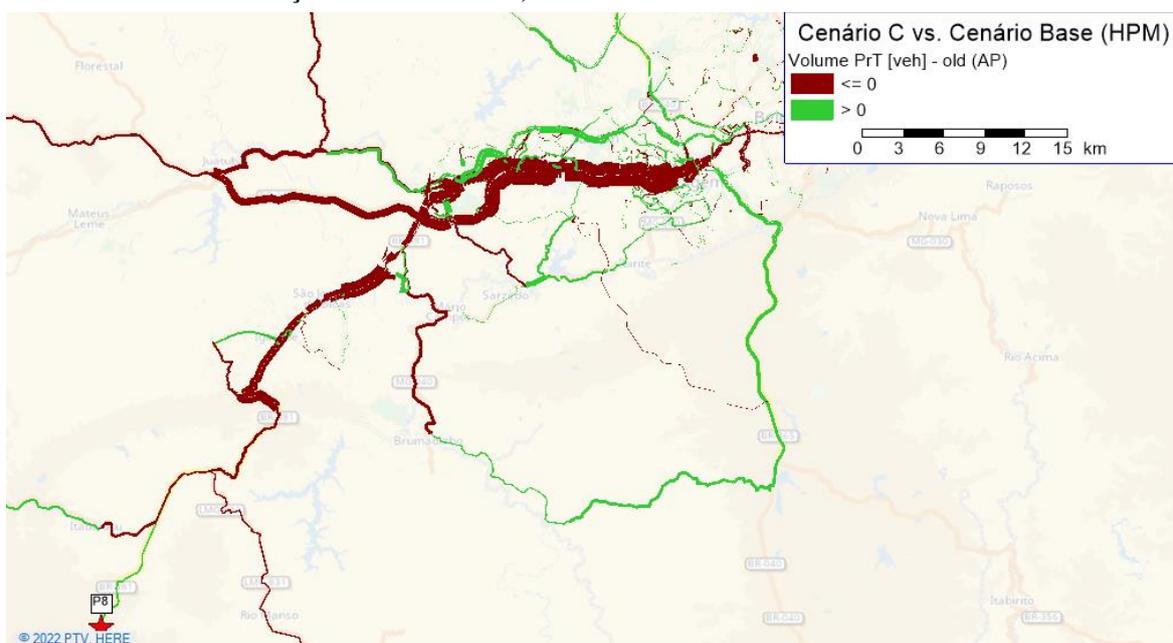
Na Figura 207 e na Figura 208 estão as comparações do Cenário C com o Cenário Base na hora-pico manhã, com obras de infraestrutura futuras. Novamente, na região próxima às praças de pedágio, há um ganho de tráfego, dado que o valor cobrado pela passagem nesse trecho diminui para viagens curtas. Nos demais trechos da concessão, no entanto, o surgimento da cobrança resulta na fuga de alguns usuários para vias locais.

**Figura 207 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMSP no Cenário C com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 208 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMBH no Cenário C com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras**

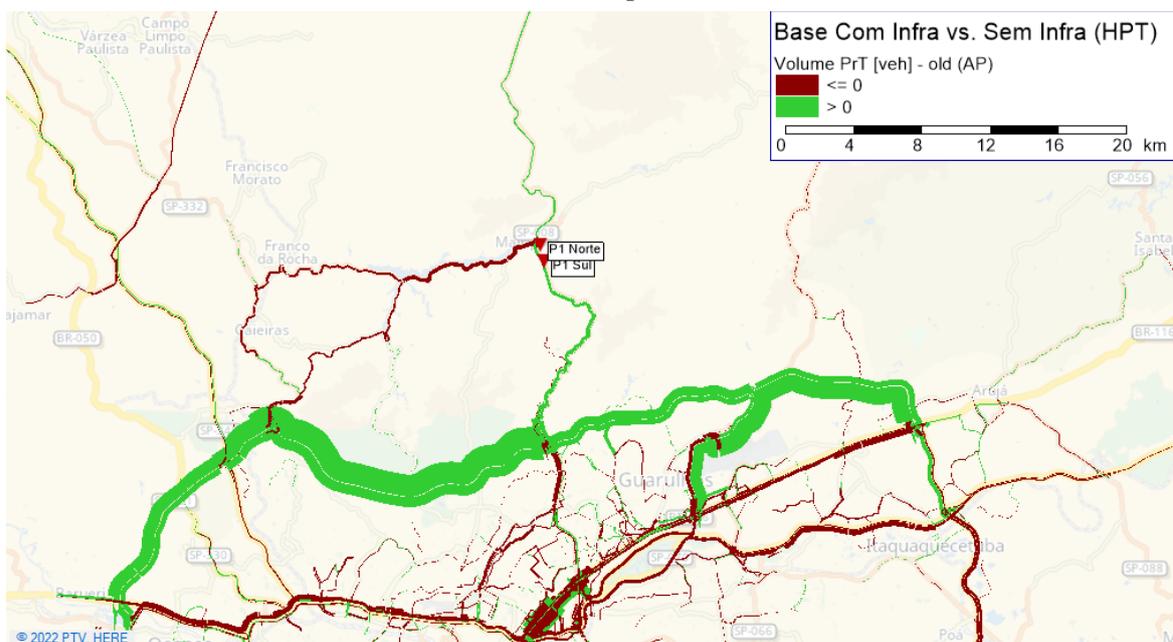


Fonte: Elaboração LOGIT

### 6.3.1.2 Hora-Pico Tarde

No período da tarde, a principal mudança na rede também é o rodoanel norte, que passa a comportar um grande volume de veículos. A praça de pedágio P-01 ganha cerca de 12% de volume no sentido sul e cerca de 1% no sentido norte, devido a essas movimentações e ao comportamento dos veículos nesse período pico.

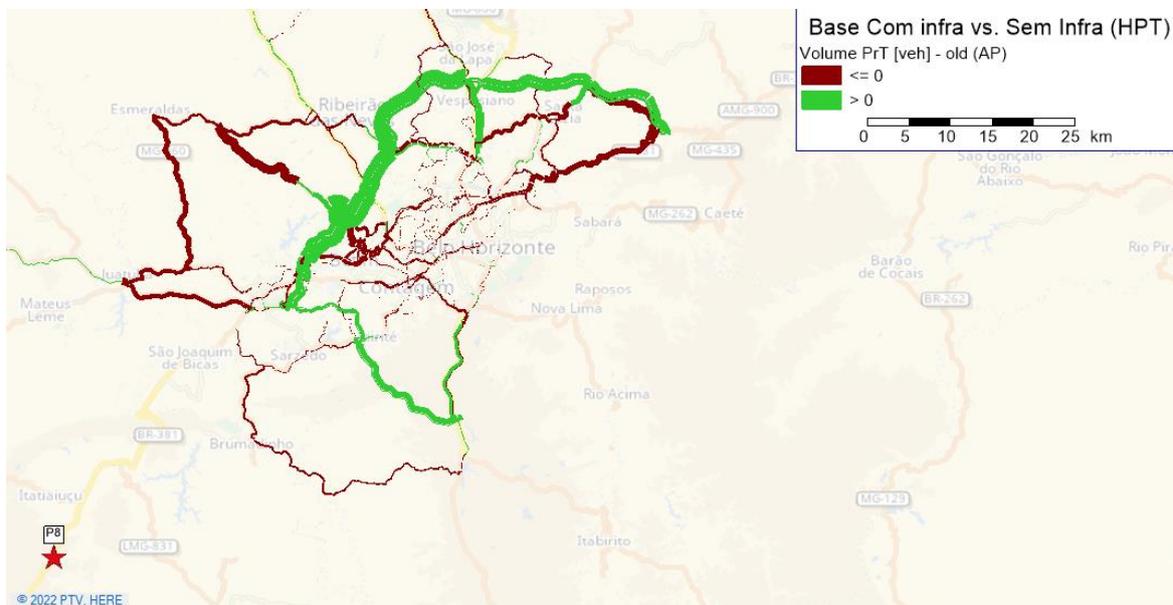
**Figura 209 – Comparação da rede de RMSP no cenário base com infraestrutura vs. sem infraestrutura futura na hora-pico tarde**



Fonte: Elaboração LOGIT

Na RMBH, a modificação na rede se dá com a inserção do trecho de rodoanel na região, que atrai veículos, reduzindo o tráfego em vias alternativas. A praça de pedágio P-08 não sofre modificações quanto ao número de veículos captados.

**Figura 210 – Comparação da rede de RMBH no cenário base com infraestrutura vs. sem infraestrutura futura na hora-pico tarde**

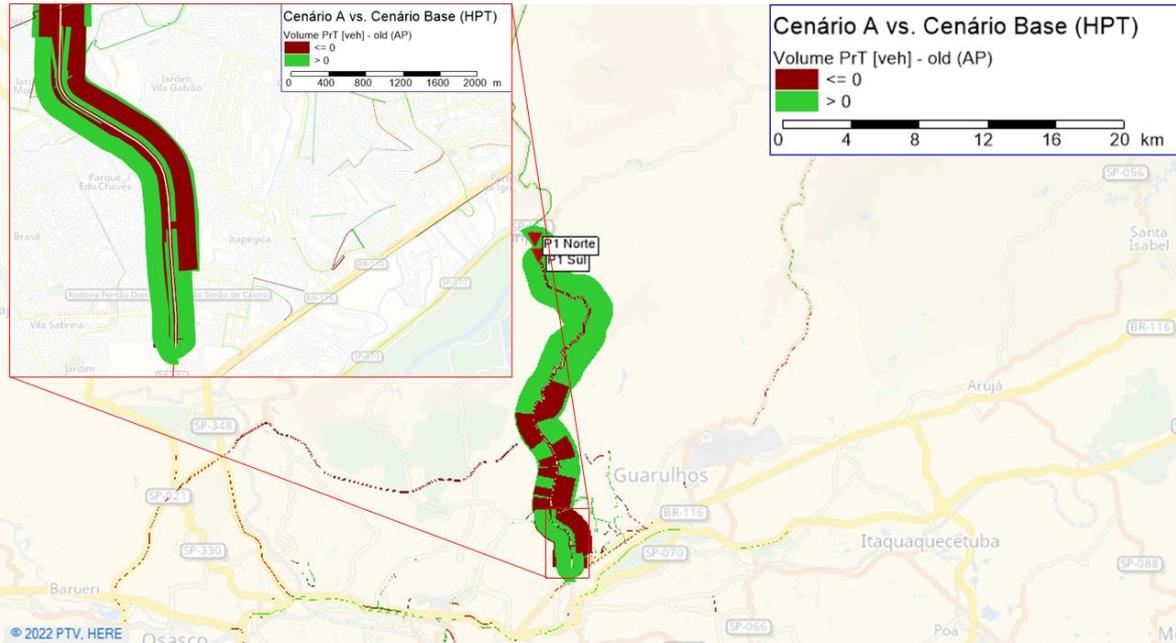


Fonte: Elaboração LOGIT

### 6.3.1.2.1 Sistema Complementar (Cen A)

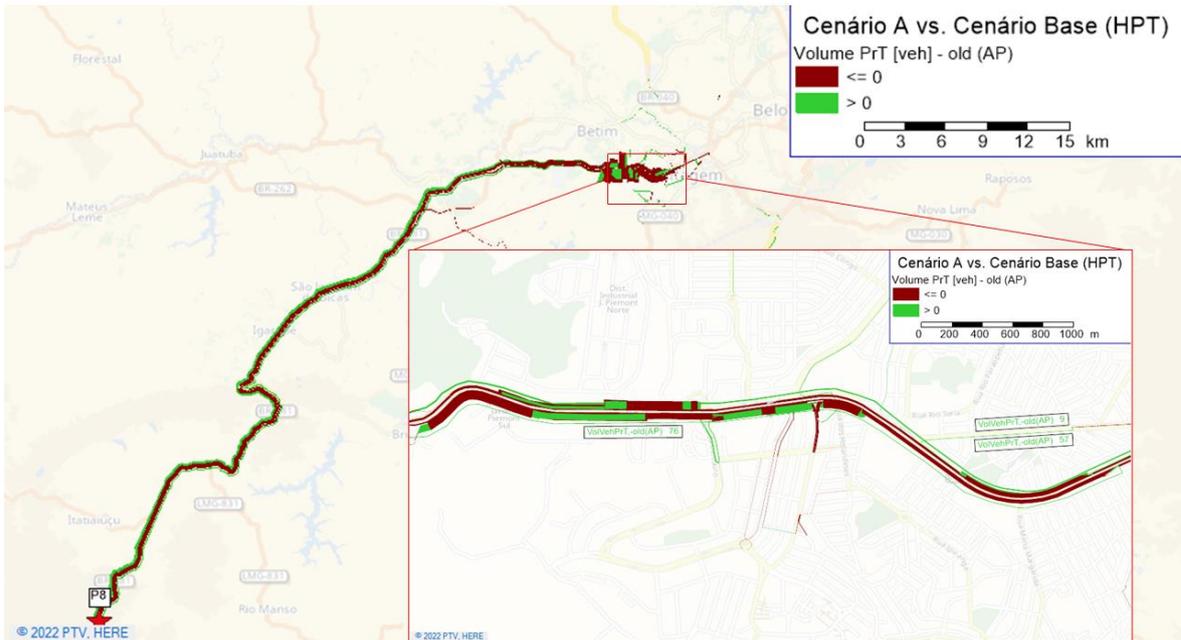
A Figura 211 e a Figura 212 mostram a comparação do Cenário A com o Cenário Base com as obras de infraestrutura futuras na hora-pico tarde. A comparação mantém ao longo do trecho de cobrança *free-flow* um aumento de tráfego nas vias marginais, alternativa ao pedagiamento.

**Figura 211 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMSP no Cenário A com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 212 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMBH no Cenário A com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras**



Fonte: Elaboração LOGIT

### 6.3.1.2.2 Sistema Híbrido (Cen B)

Na Figura 213 e na Figura 214 são apresentadas as comparações do Cenário B com o Cenário Base na hora-pico tarde, com as obras de infraestrutura futuras. Novamente, observa-se uma diminuição de tráfego no trecho sujeito à cobrança *free-flow*, com ganhos nas vias locais “paralelas”, que servem como alternativa à cobrança. Ainda, na RMSP, a praça de pedágio ganha carregamento,

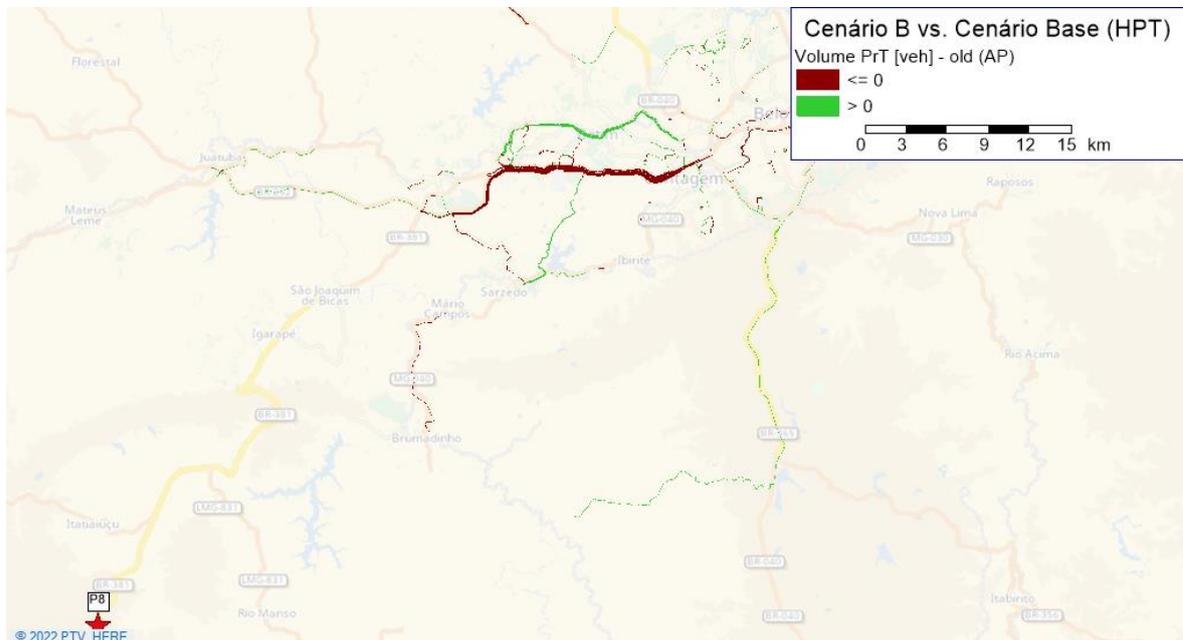
devido à diminuição de sua tarifa, enquanto na RMBH não são vistos efeitos dessa diminuição no tráfego na praça.

**Figura 213 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMSP no Cenário B com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 214 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMBH no Cenário B com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras**



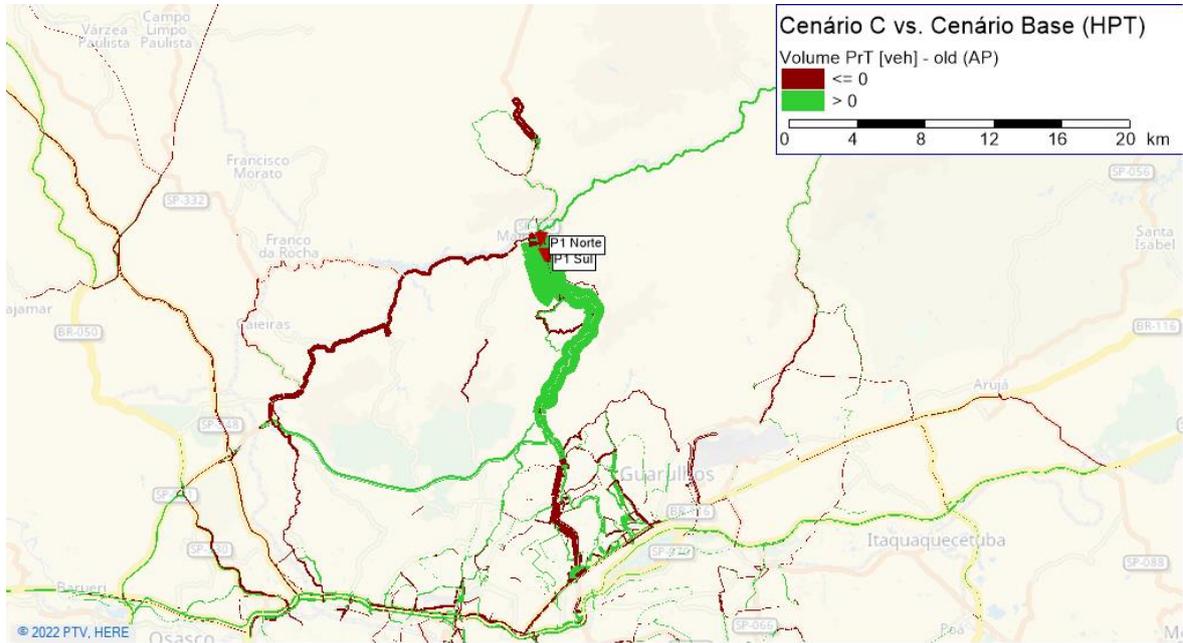
Fonte: Elaboração LOGIT

### 6.3.1.2.3 Substituição Tecnológica (Cen C)

Por fim, na Figura 215 e na Figura 216 estão as comparações do Cenário C com o Cenário Base na hora-pico tarde, com obras de infraestrutura futuras. Mantem-se na região próxima às praças de pedágio um ganho de tráfego, dado que o valor cobrado pela passagem nesse trecho diminui para

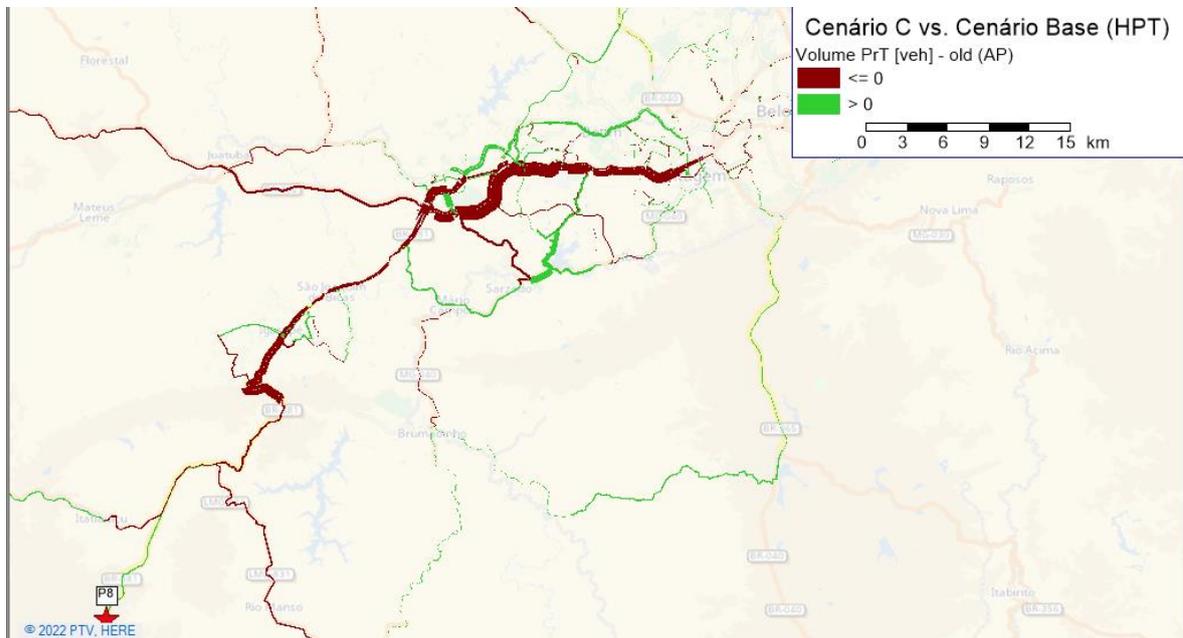
viagens curtas, e nos demais trechos da concessão mantem-se a fuga de alguns usuários para vias locais, devido ao surgimento da cobrança.

**Figura 215 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMSP no Cenário C com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 216 – Comparação do tráfego na hora-pico manhã na rede da RMBH no Cenário C com relação ao Cenário Base, com obras de infraestrutura futuras**



Fonte: Elaboração LOGIT

### 6.3.2 Receita

Neste item são apresentados os procedimentos implementados para obtenção da projeção de receita pedagiada, seguidos dos respectivos resultados obtidos. Destaca-se que a projeção de receita é obtida a partir da adoção de uma projeção tendencial com base no crescimento populacional para

a receita estimada (virtualmente) dos cenários sob condições de demanda equivalentes às do ano base.

### 6.3.2.1 Premissas

Neste subitem são apresentadas as premissas adotadas na obtenção de estimativas de receita ano a ano a partir dos volumes estimados para os períodos de análise (horas-pico da manhã e da tarde) com auxílio do modelo de simulação de tráfego.

#### 6.3.2.1.1 Categorias pedagiadas

Os resultados da simulação referem-se apenas às categorias de automóveis e caminhões (conforme descrito no item 4.3.6). Sendo assim, para a análise em termos de receita, é necessário estimar o volume das categorias pedagiadas. Para isso, são definidos fatores de desagregação e expansão dos segmentos de demanda da simulação, a partir de dados de contagem nas praças de pedágio P-01 e P-08, dispostos na Tabela 41 a seguir.

**Tabela 41 – Fatores aplicados às categorias simuladas para obtenção do volume das categorias pedagiadas**

Categoria pedagiada	Eixos pagantes equivalentes	P-01	P-08		Categoria simulada
Moto	0,5	3,21%	2,62%		Fator sobre o volume de automóveis
Automóveis	1	99,76%	99,22%		
Automóveis Semi Reboque	1,5	0,22%	0,65%	x	Automóveis
Automóveis Reboque	2	0,03%	0,13%		
Caminhões de 2 eixos	2	36,81%	18,34%		
Caminhões de 3 eixos	3	24,13%	24,67%		
Caminhões de 4 eixos	4	14,12%	18,54%		
Caminhões de 5 eixos	5	9,67%	13,92%		
Caminhões de 6 eixos	6	10,85%	19,06%	x	Comerciais (C24 + C5M)
Caminhões de 7 eixos	7	2,30%	2,80%		
Caminhões de 8 eixos	8	0,11%	0,13%		
Caminhões de 9 eixos	9	2,01%	2,54%		
Ônibus 2 eixos	2	0,98%	2,66%		Fator sobre o volume de automóveis
Ônibus 3 eixos	3	0,22%	0,97%		(demanda de passageiros)
Ônibus 4 eixos	4	0,04%	0,27%		

Fonte: Elaboração LOGIT com base em Dados Arteris, 2019.

#### 6.3.2.1.2 Períodos de análise para VDMA

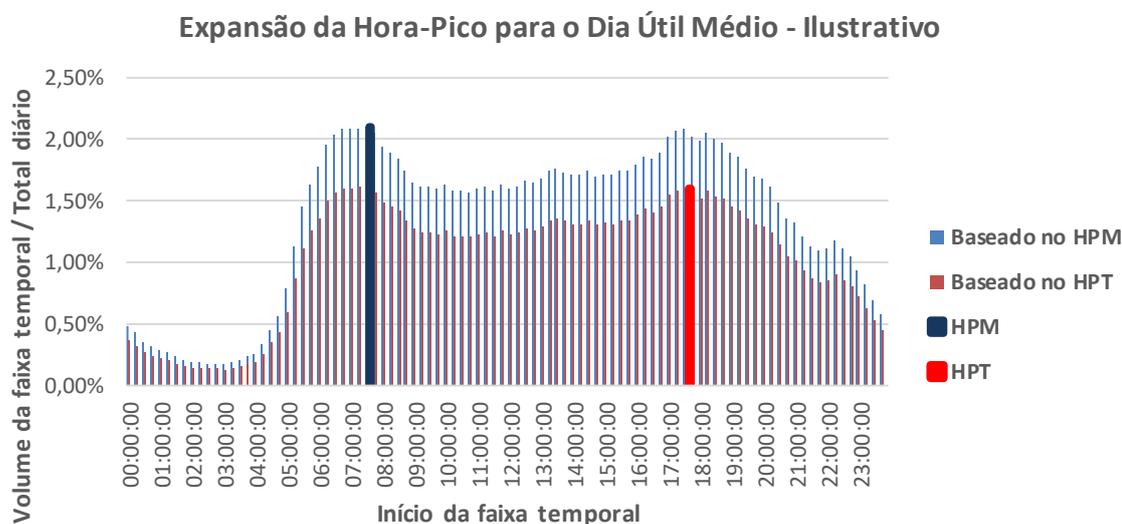
Para projeção dos resultados simulados para os períodos de análise, foram estabelecidas premissas de modo a levar em consideração a pendularidade presente na demanda de tráfego nas áreas metropolitanas dentro de um dia útil – e seu potencial impacto sobre a utilização da rodovia sob cobrança de pedágio.

A premissa fundamental adotada na projeção é a de que a utilização da rodovia é mais intensa nos períodos de maior congestionamento da rede como um todo. Com efeito, isto implica volumes pedagiados mais elevados em um dado sentido (e.g., sentido Belo Horizonte, no caso do trecho inserido na RMBH) no período-pico de maior demanda no mesmo (e.g., pico da manhã) – fenômeno de fato observado nos resultados das simulações.

Como decorrência disto, considera-se que o volume em tais períodos-pico não representa uma referência adequada para o perfil diário médio da demanda (i.e., seu comportamento fora dos períodos de análise, os períodos-pico), uma vez que é mais intimamente relacionado às condições de congestionamento presentes que meramente a flutuações de demanda. Alternativamente, considera-se que os volumes pedagiados observados no contra-fluxo de cada período de análise representam uma referência mais própria para o perfil diário médio da demanda – justamente por serem menos influenciados pelos picos de demanda e de congestionamento descritos anteriormente.

As alternativas descritas no parágrafo anterior são ilustradas na Figura 217. Neste, considera-se um exemplo hipotético no qual o tráfego horário pedagiado, em dado sentido, na hora-pico da manhã (HPM) equivale a 130% do volume pedagiado análogo na hora-pico da tarde (HPT). Neste exemplo, por conseguinte, o período-pico manhã representa o período crítico para este sentido de circulação. Os perfis considerados no exemplo são os perfis diários médios efetivamente observados para a RMSF através das pesquisas apresentadas no item 4.1.4.1 (neste exemplo, o perfil diário do tráfego de automóveis).

**Figura 217 – Exemplo hipotético de alternativas de expansão de resultados dos períodos de análise para o dia médio**



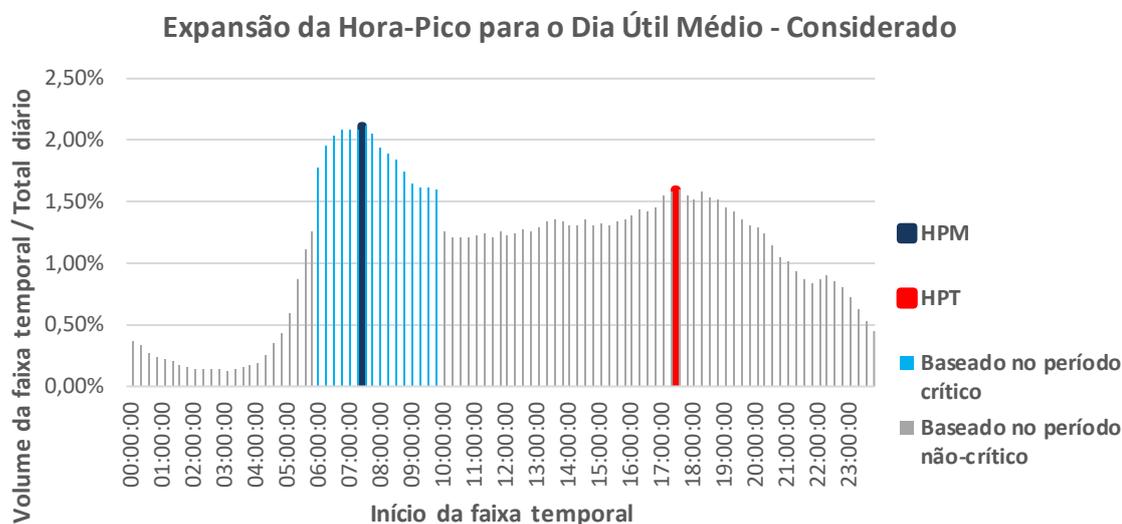
Fonte: Elaboração LOGIT

No gráfico acima, fica evidenciado que expandir os volumes do período mais carregado (barra espessa em azul) para o dia médio (sequência de barras azuis) de forma direta resulta em uma estimativa mais agressiva, potencialmente representando uma superestimativa. Por outro lado, utilizar o volume resultante no período não-crítico (HPT, no exemplo) claramente leva à subestimativa dos resultados associados ao período crítico (HPM, no exemplo).

Desta forma, a abordagem proposta é considerar o volume da hora-pico crítica (HPM, no exemplo) como representativa do período crítico (PPM, no exemplo), considerando o volume da

hora-pico não-crítica (HPT, no exemplo) como representativa do restante do dia (PPT, entre picos e madrugada, no exemplo). O processo é ilustrado graficamente na Figura 218.

**Figura 218 – Ilustração da abordagem proposta para expansão dos resultados dos períodos de análise para o dia útil médio, considerando o HPM como período-crítico no sentido do exemplo hipotético**



Consolidado o resultado estimado para o dia útil médio, são aplicados fatores de expansão destes resultados para o dia médio (i.e., VDMA), calculados a partir dos dados observados para a Praça P-01, no caso da RMSP, e a Praça P-08, no caso da RMBH. Os fatores observados e utilizados para fins de projeção são apresentados na Tabela 42.

**Tabela 42 – Fatores de Volume do dia útil médio / Volume do dia médio**

Categoria	Automóveis	Caminhões de 2 a 4 eixos	Caminhões de 5 ou mais eixos
P-01	0,917	1,239	1,160
P-08	0,871	1,119	1,057

Fonte: Elaboração LOGIT com base em Dados Arteris, 2019.

Após a aplicação dos processos descritos acima, os resultados obtidos para os períodos de análise (horas-pico manhã e tarde) foram trazidos para a base anual (i.e., VDMAs), sendo representativos do ano base (2019). No subitem seguinte é descrita a abordagem para projeção dos resultados relativos ao Ano Base para o horizonte da concessão.

### 6.3.2.1.3 Ano-base para horizonte da concessão

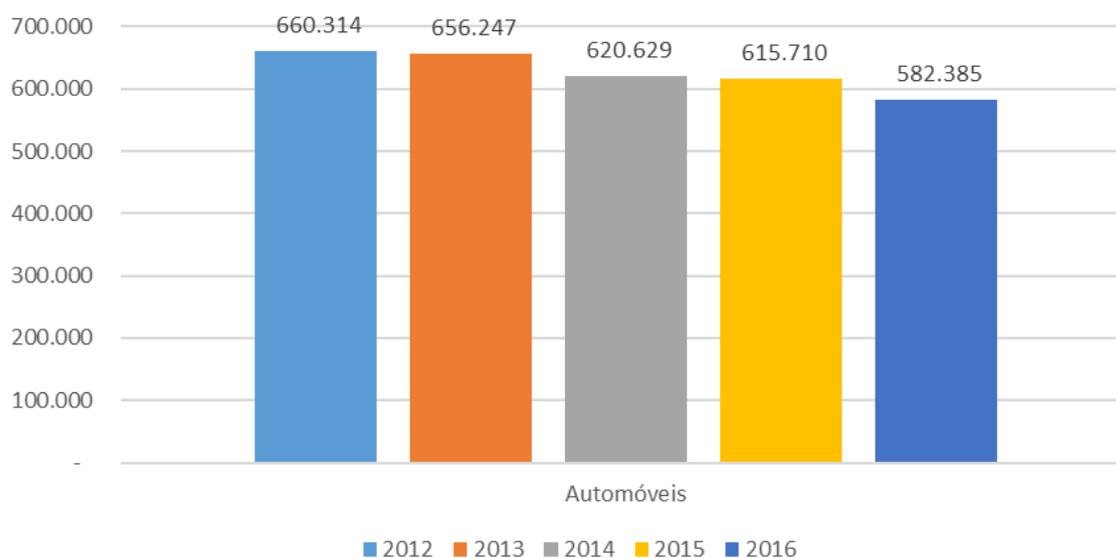
Para projeção da receita pedagiada estimada virtualmente para o ano base para anos futuros, no contexto do pedagiamento proposto adotou-se que o tráfego no trecho em estudo possui características fundamentalmente urbanas. Destas, destacam-se, para fins de estabelecimento das premissas de projeção, as seguintes:

- Maior pendularidade intra-dia, com maior influência da capacidade viária disponível sobre o tráfego realizado;
- Maior parcela de usuários frequentes e, portanto, mais sensíveis ao custo de viagem; e

- Forte suscetibilidade à competição modal no transporte de passageiros, implicando que tendências de crescimento na demanda por viagens não são refletidas necessariamente em tendências de crescimento na demanda por viagens de automóveis.

Fundamentalmente, as premissas elencadas sugerem que o transporte individual motorizado na RMSP (em especial o transporte individual de passageiros) possui intrinsecamente tendências de crescimento mais modestas associadas ao seu caráter urbano. Este indício é corroborado pelos dados das Pesquisas de Monitoração da Fluidez, fornecidas pela CET-SP, em que ao longo dos anos se observou um decréscimo na soma dos volumes de tráfego, inclusive em anos pré-crise, como 2013, conforme apresentado na Figura 219.

**Figura 219 – Medições apresentadas em Pesquisas de Monitoração da Fluidez (automóveis/hora)**



Fonte: Elaboração LOGIT com base em CET-SP.

Desta forma, na projeção das estimativas de receita pedagiada foi adotada como variável explicativa a taxa de crescimento populacional prevista para o Estado de São Paulo (no caso da rede de RMSP) e para o Estado de Minas Gerais (no caso da rede de RMBH), por ser o menor nível de agregação territorial para o qual o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) fornece projeções de longo prazo. As taxas de crescimento utilizadas estão dispostas nas tabelas a seguir.

**Tabela 43 – Taxas de crescimento populacional, em relação ao ano anterior, projetadas para SP**

<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>
<b>0,75%</b>	0,71%	0,68%	0,65%	0,62%	0,59%	0,56%	0,52%	0,49%	0,46%
<b>2032</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>	<b>2035</b>	<b>2036</b>	<b>2037</b>	<b>2038</b>	<b>2039</b>	<b>2040</b>	<b>2041</b>
<b>0,44%</b>	0,41%	0,38%	0,35%	0,32%	0,30%	0,27%	0,24%	0,22%	0,19%
<b>2042</b>	<b>2043</b>	<b>2044</b>	<b>2045</b>	<b>2046</b>	<b>2047</b>	<b>2048</b>	<b>2049</b>	<b>2050</b>	<b>2051</b>
<b>0,16%</b>	0,14%	0,11%	0,09%	0,06%	0,04%	0,02%	-0,01%	-0,03%	-0,06%
<b>2052</b>	<b>2053</b>	<b>2054</b>	<b>2055</b>	<b>2056</b>	<b>2057</b>	<b>2058</b>	<b>2059</b>	<b>2060</b>	
<b>-0,08%</b>	-0,10%	-0,13%	-0,15%	-0,17%	-0,19%	-0,22%	-0,24%	-0,26%	

Fonte: Elaboração LOGIT com base em IBGE, 2020.

**Tabela 44 – Taxas de crescimento populacional, em relação ao ano anterior, projetadas para MG**

<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>
<b>0,53%</b>	0,50%	0,48%	0,44%	0,41%	0,38%	0,35%	0,32%	0,29%	0,26%
<b>2032</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>	<b>2035</b>	<b>2036</b>	<b>2037</b>	<b>2038</b>	<b>2039</b>	<b>2040</b>	<b>2041</b>
<b>0,22%</b>	0,19%	0,16%	0,13%	0,10%	0,07%	0,03%	0,00%	-0,02%	-0,05%
<b>2042</b>	<b>2043</b>	<b>2044</b>	<b>2045</b>	<b>2046</b>	<b>2047</b>	<b>2048</b>	<b>2049</b>	<b>2050</b>	<b>2051</b>
<b>-0,08%</b>	-0,11%	-0,14%	-0,16%	-0,19%	-0,21%	-0,24%	-0,26%	-0,29%	-0,31%
<b>2052</b>	<b>2053</b>	<b>2054</b>	<b>2055</b>	<b>2056</b>	<b>2057</b>	<b>2058</b>	<b>2059</b>	<b>2060</b>	
<b>-0,34%</b>	-0,36%	-0,39%	-0,41%	-0,44%	-0,46%	-0,49%	-0,52%	-0,54%	

Fonte: Elaboração LOGIT com base em IBGE, 2020.

### 6.3.2.2 Estimativas

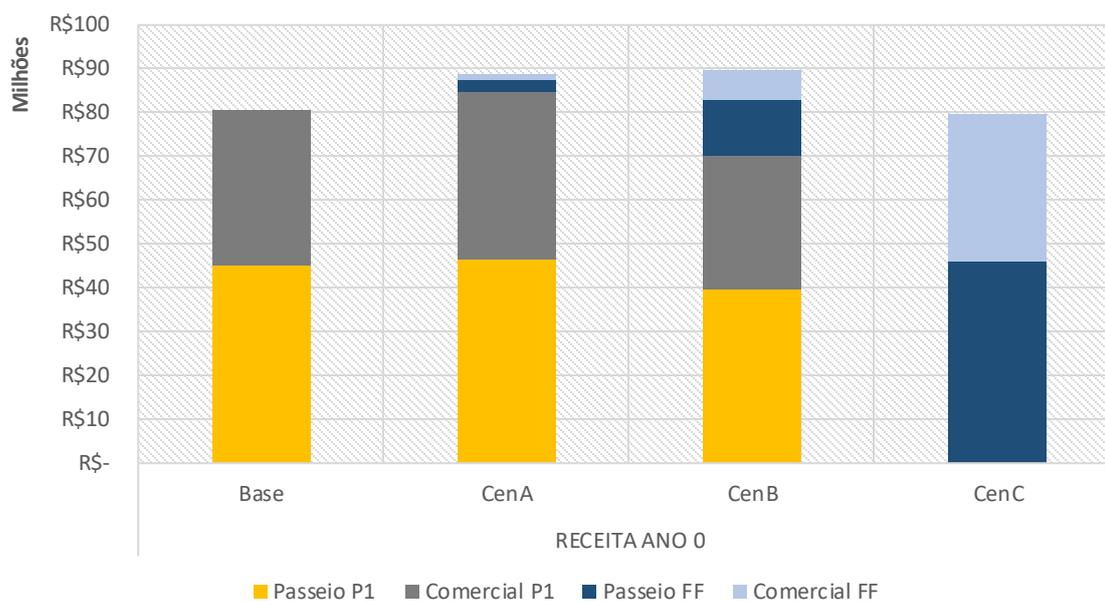
Com base nas premissas definidas no subitem anterior, foram calculadas as receitas esperadas para cada cenário, sem e com as obras de infraestrutura futuras.

#### 6.3.2.2.1 Receita Ano Base

No caso sem as obras de infraestrutura futuras – novamente, exceto o prolongamento das marginais da rodovia na RMBH, para o Cenário A – é possível verificar, na RMSP (Figura 220 e Tabela 45), um ganho de receita em relação ao cenário atual nos Cenários A e B, havendo uma pequena queda na receita esperada para o Cenário C. Dentre os cenários, o mais lucrativo é o Cenário B, seguido, com pouca diferença, pelo Cenário A, ambos combinando as fontes da praça de pedágio com a cobrança *free-flow*. O uso do dobro da tarifa quilométrica no trecho de *free-flow* do Cenário A não compensa o seu comprimento, quando comparado ao Cenário B, em que o ganho de receita por *free-flow* se mostra bem maior, embora o ganho de receita pela praça de pedágio seja diminuído, devido à menor tarifa cobrada.

Nos resultados, é possível observar que a demanda é mais elástica ao pedagiamento no trecho urbano da BR-381 no contexto da RMSP, em comparação à RMBH. Entende-se que isto seja uma implicação decorrente do padrão de uso da rodovia em cada trecho, havendo maior quantidade de deslocamentos transversais à BR-381/SP na RMSP, bem como da existência de mais vias estruturais alternativas na malha viária da RMSP. Com efeito, isto causa maior fuga ao novo pedagiamento na RMSP, e logo menor receita vinda do trecho de *free-flow* no cenário A, ao mesmo passo que causa uma ligeira atração de viagens de longa distância em função da redução de congestionamentos no trecho urbano da BR-381/SP, na RMSP, gerando também um ligeiro ganho de receita na praça de pedágio P-01.

**Figura 220 – Estimativas de receita para o Ano 0 nos cenários da rede de RMSP sem obras de infraestrutura, por fonte de receita e categoria veicular**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 45 – Estimativas de receita para o Ano 0 nos cenários da rede de RMSP sem obras de infraestrutura, por fonte de receita e categoria veicular**

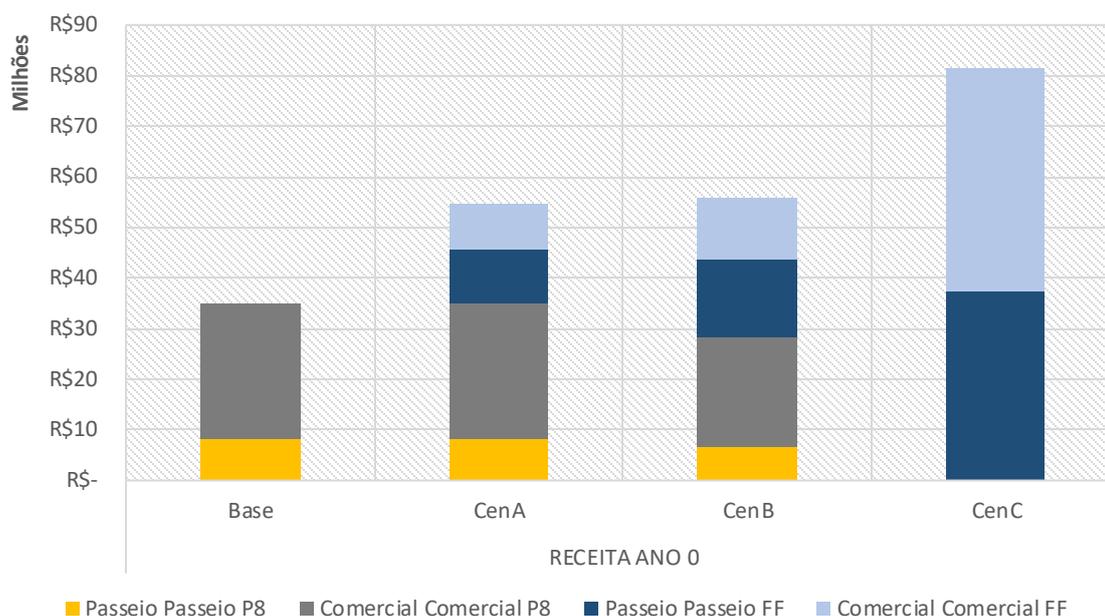
Fonte	Categoria	Cenário			
		Base	A <sup>45</sup>	B	C
Praça de Pedágio	Automóveis	MM R\$ 45,10	MM R\$ 46,45	MM R\$ 39,51	MM R\$ -
	Comerciais	MM R\$ 35,69	MM R\$ 38,14	MM R\$ 30,75	MM R\$ -
	Total	MM R\$ 80,79	MM R\$ 84,60	MM R\$ 70,26	MM R\$ -
Free-flow	Automóveis	MM R\$ -	MM R\$ 2,73	MM R\$ 12,69	MM R\$ 46,00
	Comerciais	MM R\$ -	MM R\$ 1,70	MM R\$ 6,95	MM R\$ 33,60
	Total	MM R\$ -	MM R\$ 4,43	MM R\$ 19,63	MM R\$ 79,60
Total	Automóveis	MM R\$ 45,10	MM R\$ 49,18	MM R\$ 52,20	MM R\$ 46,00
	Comerciais	MM R\$ 35,69	MM R\$ 39,84	MM R\$ 37,70	MM R\$ 33,60
	Total	MM R\$ 80,79	MM R\$ 89,03	MM R\$ 89,89	MM R\$ 79,60

Fonte: Elaboração LOGIT

No caso da RMBH (Figura 221 e Tabela 46), novamente há um ganho de receita em relação à situação atual em todos os cenários considerados. No entanto, o maior ganho se dá no Cenário C, que resulta em uma receita maior que o dobro da obtida no cenário base, resultado já indicado pela análise de iniquidade nos cenários, que na situação atual apresentaram elevada iniquidade, e apenas no Cenário C houve uma aproximação de equidade razoável. Os cenários A e B apresentam receitas próximas, assim como no caso da RMSP.

<sup>45</sup> No cenário A foi considerado o dobro da tarifa quilométrica no trecho de cobrança *free-flow*

**Figura 221 – Estimativas de receita para o Ano 0 nos cenários da rede de RMBH sem obras de infraestrutura, por fonte de receita e categoria veicular**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 46 – Estimativas de receita para o Ano 0 nos cenários da rede de RMBH sem obras de infraestrutura, por fonte de receita e categoria veicular**

Fonte	Categoria	Cenário			
		Base	A <sup>46</sup>	B	C
Praça de Pedágio	Automóveis	MM R\$ 8,33	MM R\$ 8,36	MM R\$ 6,72	MM R\$ -
	Comerciais	MM R\$ 26,68	MM R\$ 26,70	MM R\$ 21,56	MM R\$ -
	Total	MM R\$ 35,01	MM R\$ 35,06	MM R\$ 28,28	MM R\$ -
Free-flow	Automóveis	MM R\$ -	MM R\$ 10,52	MM R\$ 15,28	MM R\$ 37,27
	Comerciais	MM R\$ -	MM R\$ 8,93	MM R\$ 12,12	MM R\$ 44,21
	Total	MM R\$ -	MM R\$ 19,44	MM R\$ 27,40	MM R\$ 81,48
Total	Automóveis	MM R\$ 8,33	MM R\$ 18,87	MM R\$ 22,00	MM R\$ 37,27
	Comerciais	MM R\$ 26,68	MM R\$ 35,63	MM R\$ 33,68	MM R\$ 44,21
	Total	MM R\$ 35,01	MM R\$ 54,50	MM R\$ 55,68	MM R\$ 81,48

Fonte: Elaboração LOGIT

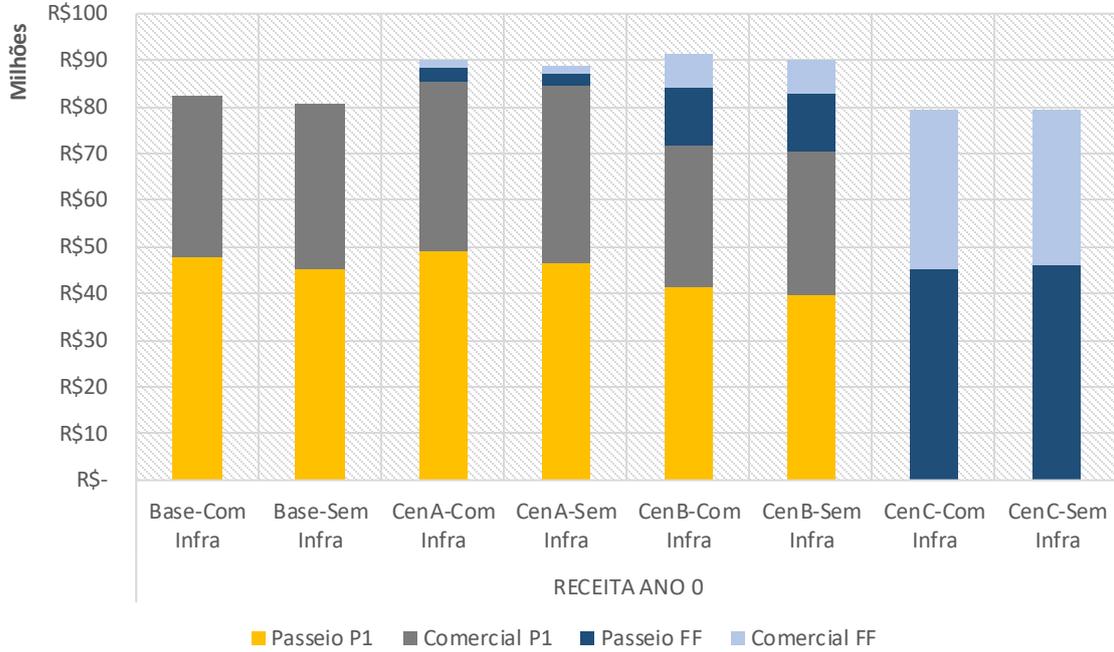
Observa-se como o ganho de receita no trecho de *free-flow* do Cenário A na RMSP é significativamente menor do que na RMBH, embora trate-se de trechos de extensões próximas, com cobrança de mesma tarifa quilométrica. Isso se deve ao comportamento observado no diagnóstico de perfil de utilização da rodovia (capítulo 5.2.1.3) e no início da seção 6.3.2.2.1, indicando que os usuários são mais cativos à expressa na RMBH – inclusive em função de a pista marginal na RMBH apresentar condições operacionais inferiores à pista marginal na RMSP.

Os resultados com as obras de infraestrutura futuras estão dispostos na Figura 222 e na Figura 226. Em ambas as regiões metropolitanas, observa-se como os resultados não diferem muito da situação sem obras de infraestrutura futuras, com variações de menos de 3%, não justificando uma análise mais profunda relacionada aos projetos de infraestrutura relevantes, como mostraram as

<sup>46</sup> No cenário A foi considerado o dobro da tarifa quilométrica no trecho de cobrança *free-flow*

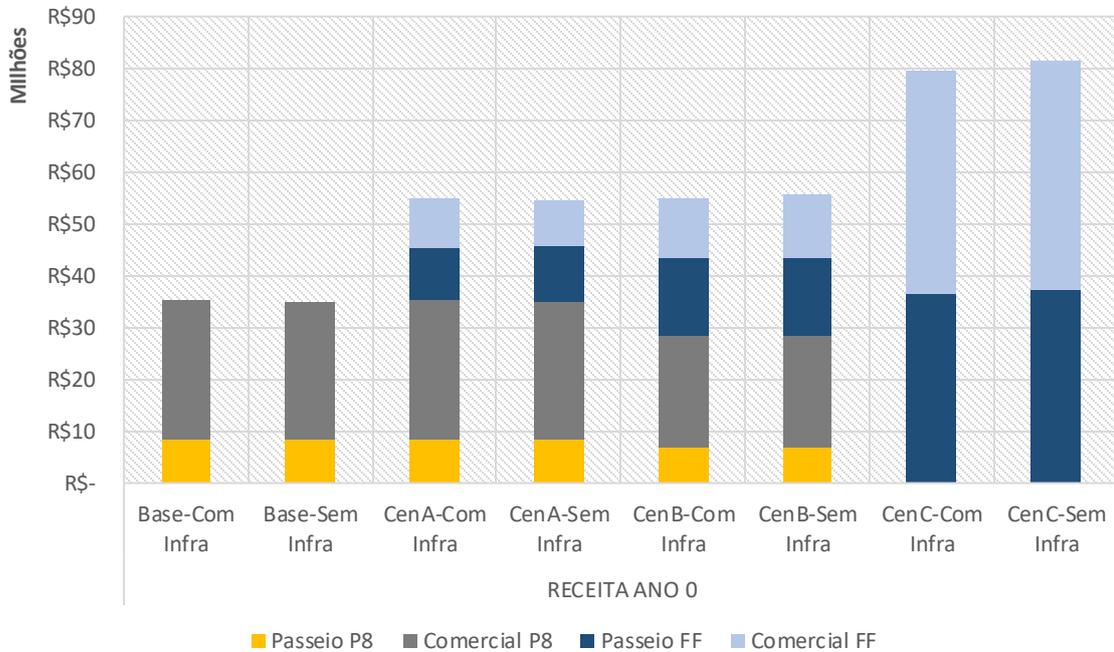
análises do tráfego do Capítulo 6.3.1, similares às apresentadas para o caso sem obras de infraestrutura futuras.

**Figura 222 – Comparação entre a receita do Ano 0 dos cenários com e sem obras de infraestrutura futuras, na RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 223 – Comparação entre a receita do Ano 0 dos cenários com e sem obras de infraestrutura futuras, na RMBH**



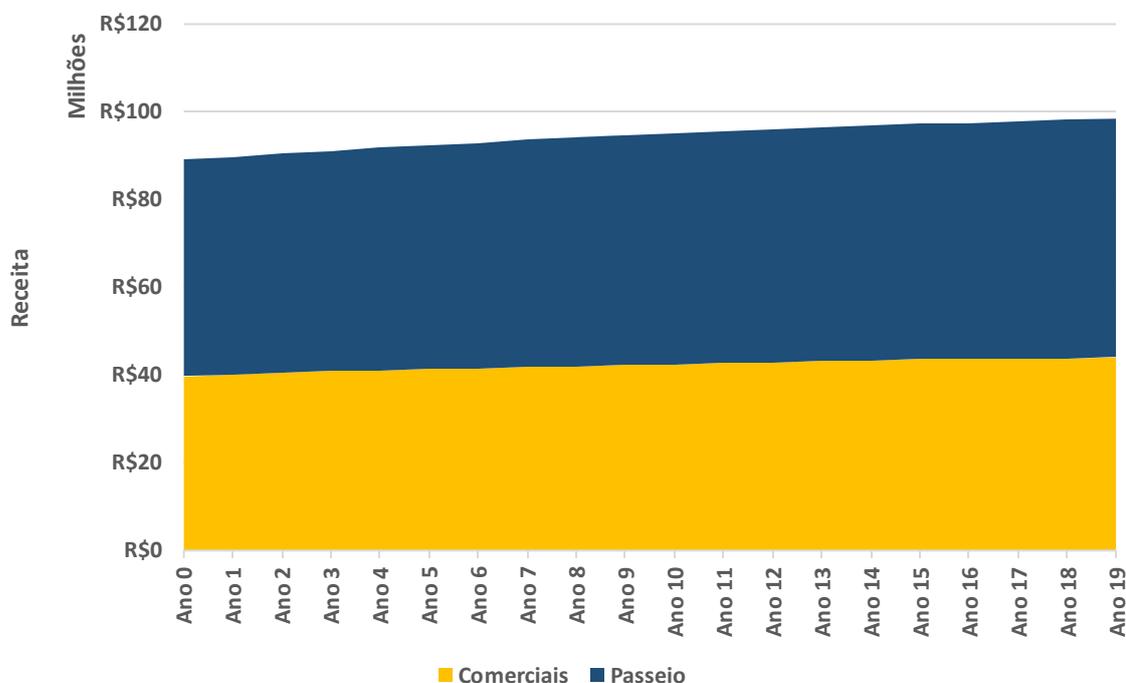
Fonte: Elaboração LOGIT

Sendo assim, no subitem seguinte serão apresentados os resultados das variações de tarifas quilométricas nos trechos de *free-flow* e de projeções de receita, para cada cenário, sem as obras de infraestrutura futuras.

### 6.3.2.2 Projeções de Receita Ano a Ano

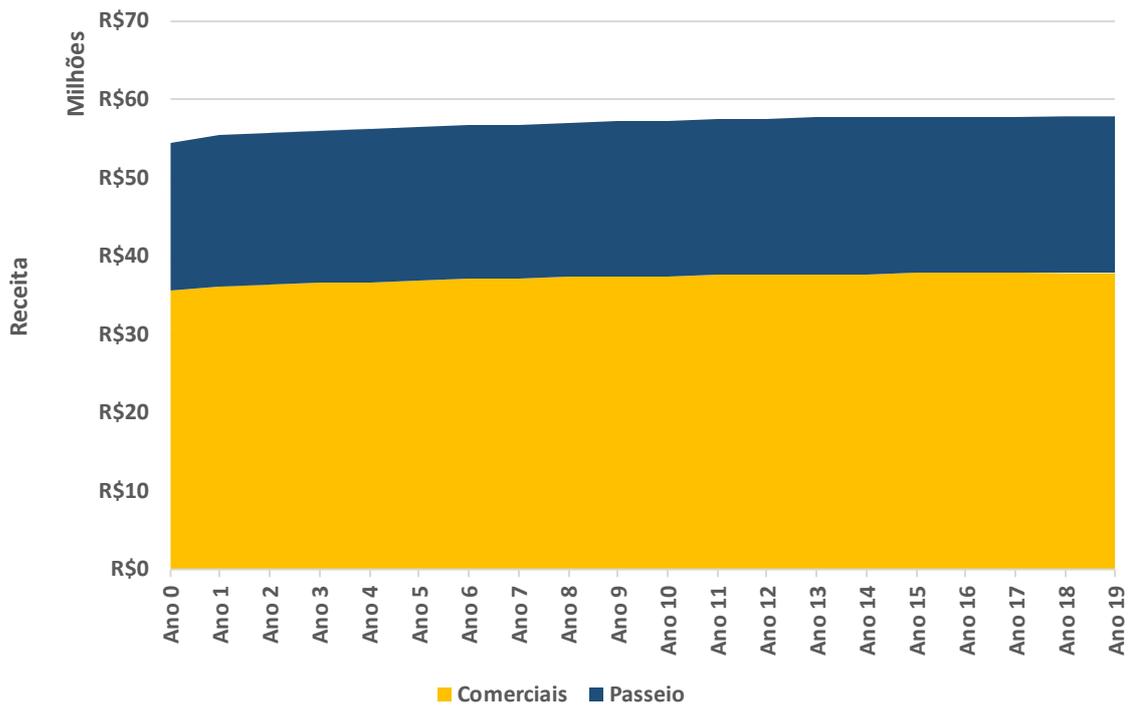
As projeções de receita foram realizadas a partir de 2021 (Ano 0), compreendendo todos os anos até 2040. A evolução da arrecadação para cada cenário simulado está apresentada nas figuras a seguir. Essas estimativas podem ser consultadas em detalhe na planilha de resultados de receita que acompanha este relatório como apêndice digital.

Figura 224 – Projeção de receita para o cenário A na RMSP



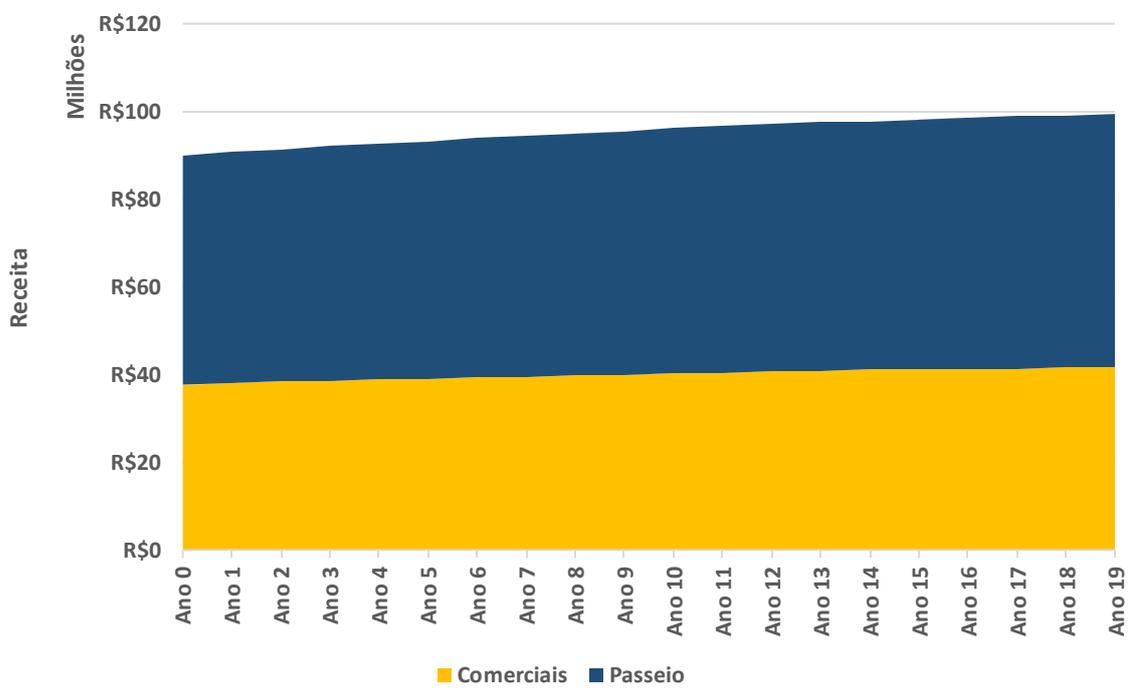
Fonte: Elaboração LOGIT

Figura 225 – Projeção de receita para o cenário A na RMBH



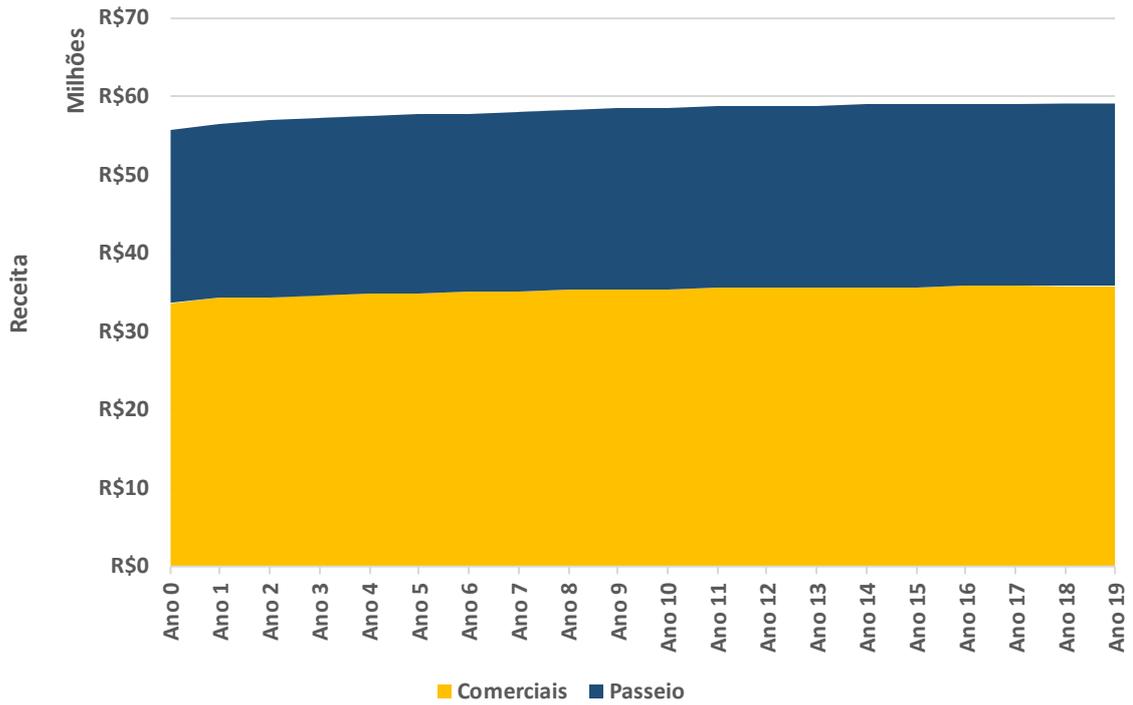
Fonte: Elaboração LOGIT

Figura 226 – Projeção de receita para o cenário B na RMSP



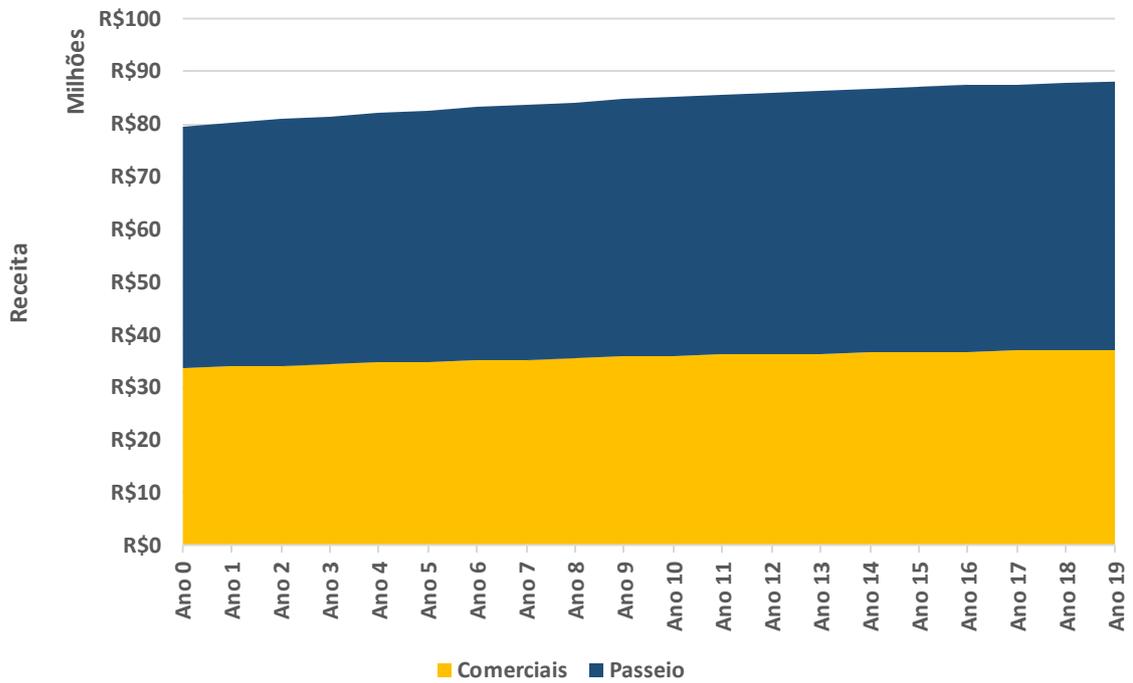
Fonte: Elaboração LOGIT

Figura 227 – Projeção de receita para o cenário B na RMBH



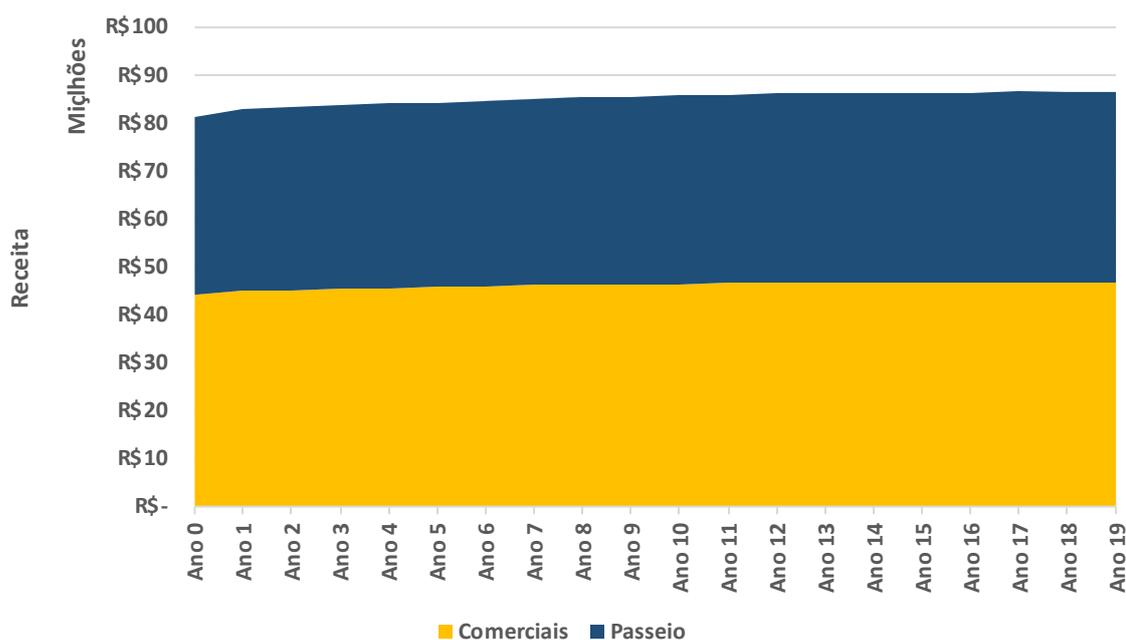
Fonte: Elaboração LOGIT

Figura 228 – Projeção de receita para o cenário C na RMSP



Fonte: Elaboração LOGIT

Figura 229 – Projeção de receita para o cenário C na RMBH



Fonte: Elaboração LOGIT

Considerando uma TIR de 8,47% ao ano, a partir de 2024, tem-se os seguintes valores presentes líquidos (VPL):

Tabela 47 – Receita total projetada para os cenários propostos na RMSP

Cenário	Receita total no horizonte da concessão	VPL
A	MMR\$ 1.620,08	MMR\$ 654,16
B	MMR\$ 1.635,91	MMR\$ 660,55
C	MMR\$ 1.448,65	MMR\$ 584,94

Tabela 48 – Receita total projetada para os cenários propostos na RMBH

Cenário	Receita total no horizonte da concessão	VPL
A	MMR\$ 973,56	MMR\$ 395,14
B	MMR\$ 994,61	MMR\$ 994,61
C	MMR\$ 1.455,49	MMR\$ 590,75

### 6.3.2.2.3 Variações Tarifárias

Foram analisadas duas variações de tarifa nos trechos de *free-flow*, para os três cenários: o dobro e o quádruplo da tarifa quilométrica adotada na situação inicial, de modo a sensibilizar os resultados obtidos e a elasticidade à tarifa da demanda. Como para o Cenário A já era adotado o dobro da TKM do lote, isso significa que nas variações foram consideradas quatro e oito vezes essa tarifa, como resume a tabela:

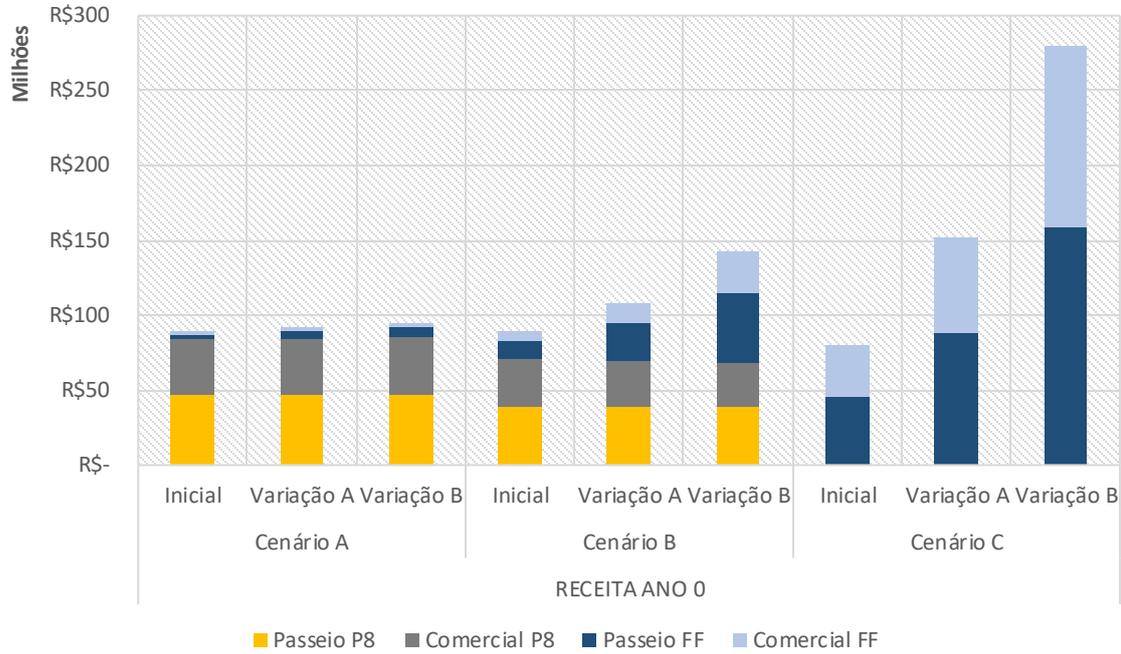
Tabela 49 – Variações de tarifa avaliadas nos trechos de *free-flow* dos cenários

Cenário	Tarifa quilométrica adotada no trecho de <i>free-flow</i>		
	Tarifa inicial	Varição A	Varição B
A	2 x TKM	4 x TKM	8 x TKM
B	TKM	2 x TKM	4 x TKM
C	TKM	2 x TKM	4 x TKM

Fonte: Elaboração LOGIT

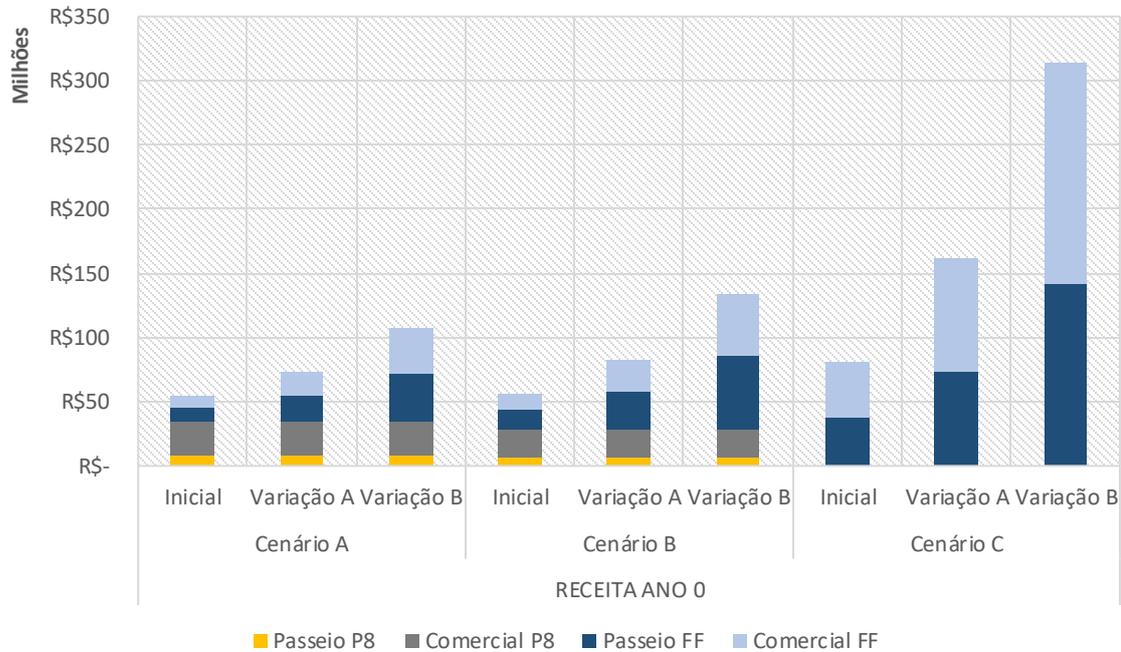
Os resultados dessas variações de tarifas para cada cenários estão dispostos na Figura 230 e na Figura 231:

**Figura 230 – Estimativas de receita anual para as variações de tarifa nos trechos de *free-flow* dos cenários, na RMSP**



Fonte: Elaboração LOGIT

**Figura 231 – Estimativas de receita anual para as variações de tarifa nos trechos de *free-flow* dos cenários, na RMBH**



Fonte: Elaboração LOGIT

Essas variações de receita são acompanhadas de variações na demanda, cujos valores médios estão consolidados nas tabelas a seguir.

**Tabela 50 – Variação de demanda por cenário de acordo com a variação da tarifa quilométrica, na RMSP**

Cenário	Variação A vs. Tarifa Inicial	Variação B vs. Tarifa Inicial	Variação B vs. Variação A
A	-48%	-73%	-49%
B	-40%	-60%	-34%
C	-4%	-12%	-8%

Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 51 – Variação de demanda por cenário de acordo com a variação da tarifa quilométrica, na RMBH**

Cenário	Variação A vs. Tarifa Inicial	Variação B vs. Tarifa Inicial	Variação B vs. Variação A
A	-33%	-51%	-27%
B	-26%	-40%	-18%
C	-1%	-4%	-3%

Fonte: Elaboração LOGIT

É possível observar que o Cenário C é o menos suscetível a variações de demanda em função do aumento tarifário, o que pode ser explicado pela menor disponibilidade de rotas alternativas no trecho rural, de tal sorte que, ainda que o aumento tarifário percentual seja constante entre os cenários, a elasticidade da demanda resulta menor. Além disso, observa-se novamente o fenômeno de maior elasticidade à tarifa na RMSP, em função da presença de mais alternativas de vias estruturais no entorno da BR-381 neste trecho.

Em linhas gerais, para os Cenários A e B de implantação de pedagiamento *free-flow* (cobrança restrita aos trechos mais urbanizados da BR-381), nota-se uma elasticidade resultante da demanda à tarifa elevada, entre -0.25 e -0.50. Isso implica que ainda é possível aumentar a receita com aumentos de tarifa, caso haja esta pretensão, porém há um risco de que se imponha maior perturbação sobre o tráfego, gerando maior sobrecarga do sistema viário no entorno da BR-381 ao absorver o tráfego desviado da rodovia. Desta forma, patamares de tarifa próximos aos do cenário de referência (2xTKM no Cenário A e 1xTKM nos Cenários B e C) se apresentam como valores razoáveis.

## 7 CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS GERADOS

O sistema de pedagiamento sem barreiras, comumente referido como *free-flow*<sup>47</sup>, presente em diferentes países do mundo e com tecnologias já consolidadas para a sua operação, apresentadas com detalhes no capítulo 3, tem sido cada vez mais discutido e estudado no Brasil. Em 2021, a promulgação da lei 14.157, que “estabelece condições para a implementação da cobrança pelo uso de rodovias e vias urbanas por meio de sistemas de livre passagem, com o intuito de possibilitar pagamentos de tarifas que guardem maior proporcionalidade com o trecho da via efetivamente utilizado”, representou um avanço importante para que a implementação do sistema seja possível nas rodovias nacionais em um futuro próximo.

No mesmo ano, a publicação do edital de reconcessão da BR-116/RJ/SP, popularmente conhecida como Rodovia Presidente Dutra, cujo projeto foi então nomeado como iNovaDutra e atualmente culminou na criação da concessionária CCR RioSP, também representou mais um passo importante para a implantação do sistema no território nacional, uma vez que foi o primeiro edital de concessão rodoviária do país a contemplar a operação de um sistema de pedagiamento exclusivamente eletrônico (ou sistema *free-flow*, fazendo-se as devidas ressalvas semânticas em relação ao uso desta expressão nesta conotação). Ainda que não abranja a totalidade da rodovia, mas restrinja-se a um trecho na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), tal implementação servirá como uma importante implementação piloto para avaliação do funcionamento do sistema e aceitação da população.

Considerando este contexto, neste estudo avaliou-se a viabilidade e os possíveis impactos da implantação de um sistema de pedagiamento *free-flow* nos trechos da BR-381/MG/SP (popularmente conhecida como Rodovia Fernão Dias) inseridos nas duas regiões metropolitanas conectadas pela rodovia: a região de São Paulo (RMSP) e a de Belo Horizonte (RMBH). A rodovia federal em questão é concedida e operada pela Arteris através da concessionária Autopista Fernão Dias desde 2008. Seu sistema de arrecadação atual contempla 8 praças de pedágio distribuídas ao longo dos quase 562 km de rodovia, representando uma média de uma praça de pedágio a cada 70 km de extensão concedida.

A princípio, nessas regiões, a expectativa e o senso comum apontam que o *free-flow* seria capaz de promover: (i) total justiça tarifária (todos os usuários pagando exatamente a distância que percorrem na rodovia); e (ii) aumento de arrecadação, dada a grande quantidade de usuários não pagantes nos trechos inseridos próximos às capitais São Paulo e Belo Horizonte.

Quanto ao aumento de arrecadação (tópico “ii”), a análise de iniquidade apresentada no diagnóstico da situação atual (capítulo 5.2.1.3) mostrou que a RMBH possui um potencial de arrecadação substancialmente maior do que a RMSP, considerando um sistema com total justiça tarifária. De fato, ainda que o tráfego em ambas as regiões metropolitanas sofra um aumento considerável à medida em que se aproxima das capitais, o momento de transporte (indicativo do potencial de receita) captado pela Praça de Pedágio de Mairiporã (P-01) já é bastante próximo do momento de transporte que percorre o trecho. Ocorre que, ainda que o volume de viagens aumente nestes trechos inseridos nas RMs, a distância percorrida na rodovia por essas viagens é pequena. Isto implica que o aumento da quantidade de usuários captados, promovido pela implementação do

<sup>47</sup> Conforme apontado anteriormente, terminologias mais precisas para esta tipologia de sistemas de arrecadação seriam *Open road tolling* (rodovias de pedagiamento aberto, em tradução literal) ou *All-electronic tolling* (pedagiamento exclusivamente eletrônico, em tradução literal).

sistema *free-flow*, não necessariamente se converta em aumento de arrecadação – uma vez que os usuários atuais teriam sua tarifa recalculada e isso pode implicar reduções na arrecadação do sistema.

Três tipologias de cobrança foram então analisadas, descritas com mais detalhes no capítulo 6. A tipologia Complementar (Cenário A) é semelhante àquela prevista para ser implementada na nova concessão da Dutra, e requer a presença de pistas marginais para o oferecimento de uma alternativa gratuita à pista expressa, que passa então a ser paga e operar em um sistema de *managed lanes* (faixas com gestão de tráfego, em tradução livre). Como vantagem, esta configuração representa um risco muito baixo de perturbação na arrecadação da concessão, uma vez que não altera a receita da praça de pedágio de bloqueio existente, sendo especialmente adequada para uma aplicação piloto do sistema.

A tipologia Híbrida (Cenário B), por sua vez, representa um ponto intermediário da transição entre o sistema atual (pedagiamento com bloqueios) e o sistema exclusivamente *free-flow*. Esta tipologia permite endereçar parcialmente o problema de iniquidade entre os usuários, ao promover um aumento da base de usuários pagantes e a cobrança de tarifas que reflitam maior proporcionalidade à extensão dos percursos em via concedida. Nesta configuração, a intervenção possui maior potencial para aumentar a arrecadação do sistema – uma vez que a intervenção pode restringir-se a trechos que produzam tal aumento de arrecadação – ao passo que gera maior perturbação à receita associada à praça de pedágio existente, uma vez que seu trecho de cobertura (“TCP”) e, conseqüentemente, sua tarifa seriam reduzidos. A perturbação referida no parágrafo anterior decorre do risco inerente a uma substituição da tecnologia de cobrança de pedágio (ainda que parcial) e aos possíveis problemas associados à cobrança via *free-flow* (e.g., dificuldades de identificação, evasão de pedágio, recusa ao pagamento, ineficiência da fiscalização e penalização).

Por fim, a Substituição Tecnológica (Cenário C) representa a tipologia que promove a justiça tarifária máxima e possivelmente representa aquilo que se deseja alcançar com a maturação e consolidação do *free-flow* na malha rodoviária nacional. Em termos de arrecadação no contexto da concessão da Autopista Fernão Dias, demonstra potencial de aumento em relação aos valores atuais somente na RMBH, e representa um risco muito superior ao associado ao Cenário B (tipologia Híbrida), uma vez que a praça de pedágio de bloqueio existente deixaria de funcionar e toda a arrecadação passaria a depender da efetividade da nova tecnologia sem barreiras.

Em termos da equidade tarifária promovida pelo *free-flow* (tópico “i”), cabe destacar que, ainda que o apelo de justiça de cobrança do sistema seja relevante, a adoção do sistema em segmentos rodoviários tão carregados quanto os inseridos nas regiões metropolitanas implica na imposição de uma cobrança nova a uma grande quantidade de usuários que estão acostumados a utilizar a rodovia sem pagar nenhum adicional por isso.

Especialmente em concessões já existentes, como é o caso da Autopista Fernão Dias, entende-se que a inclusão extraordinária de obras na região (e.g., remodelagem de interseções, alças direcionais, implantação/prolongamento de pista marginal etc.) ao plano de investimentos é um fator importante para a aceitação do sistema por parte da população, facilitando a aceitação pública da imposição de uma nova cobrança de pedágio, ainda que esses segmentos já sejam mais onerosos para a concessionária atualmente (por exemplo, em função de maiores custos operacionais, maiores custos de conservação e manutenção, maiores investimentos em infraestrutura).

Em função das dimensões analisadas, entende-se que o caminho para uma implantação piloto na concessão que possui maior potencial de agregar benefícios face aos riscos inerentes a essa nova

tecnologia de cobrança – além de oferecer maior potencial de geração de receita adicional – seria o Cenário B. Porém, inicialmente, visando minimizar os riscos tecnológicos, regulatórios e de evasão, a configuração deste Sistema Híbrido (Cen B) corresponderia àquela da alternativa “b” descrita no início da seção 6.2.2, isto é, sem diminuição da tarifa das praças existentes e com cobrança obrigatória a todos no trecho sujeito a pedagiamento *free-flow*, isentando-se somente aqueles que tenham/venham a passar pela praça de bloqueio.

Em um momento intermediário, com a maturação do sistema e uma melhor avaliação e compreensão dos riscos, transicionaria o Cenário B com a configuração da alternativa “b” para a configuração da alternativa “a” descrita no início da seção 6.2.2, isto é, com diminuição da tarifa das praças existentes e com cobrança obrigatória a todos no trecho sujeito a pedagiamento *free-flow*, passando o sistema de arrecadação a atacar também, a partir dessa transição, o problema de iniquidade existente nas praças de bloqueio atualmente.

## 7.1 Viabilização de Novos Investimentos

Com base nas considerações elencadas anteriormente acerca da implementação do sistema de pedagiamento *free-flow* nas regiões metropolitanas, especialmente aquelas relacionadas ao apelo popular que a vinculação de obras ao plano de investimentos possui, avaliou-se quais obras poderiam ser financiadas por meio da receita adicional obtida através do pedagiamento sem barreiras, também visando atingir o objetivo que a receita adicional do sistema seja inserida no fluxo de caixa da concessão sem alterar o equilíbrio econômico-financeiro já pré-existente.

Primeiramente, cabe comentar que a receita adicional estimada pelos cenários propostos não foi capaz de viabilizar grandes investimentos em obras mais pesadas, como a ampliação de capacidade através da construção de novas faixas e/ou novas pistas. Os custos associados a intervenções dessa natureza já são naturalmente mais elevados e, dado o alto grau de ocupação existente às margens da rodovia em ambas as regiões metropolitanas, mas especialmente na RMSP, esses custos tomam-se ainda maiores devido à necessidade de desapropriações.

No entanto, existem outras obras dentro deste contexto urbano que constituem uma necessidade dos usuários e poderiam ser executadas. A partir dos valores de receita estimados, a concessionária entende que a implantação de obras de passarelas e melhorias de acessos de vias locais à rodovia poderia ser viabilizada. A concessionária estuda algumas localizações em que poderiam ser aplicadas essas melhorias, com projetos-tipo com um custo médio de construção estimado em torno de cinco a seis milhões de reais por passarela e dois milhões de reais por acesso. A seguir são listadas algumas dessas localizações.

Em Minas Gerais, a melhoria de acesso poderia ser realizada no km 513+630, na pista norte, ilustrado na Figura 232, a seguir.

**Figura 232 – Ponto sugerido de melhoria de acesso do km 513+630 da Rod. Fernão Dias (a) Streetview e (b) Satélite**



(a)



(b)

Fonte: Arteris com base em *Google Street View/Earth*

Em São Paulo, os seguintes pontos estão sendo analisados: km 53+300, pista sul; km 63+900, pista sul; km 72+000, pista sul; km 80+000, pista sul; km 80+000, pista norte; km 82+80, pista sul; km 83+000, pista sul; km 83+500, pista norte; km 84+000, pista norte; km 84+000, pista sul; e km 84+900, pista sul. São ilustrados como exemplos dos acessos na região do estado de São Paulo os quilômetros 53+300 e 84+900, na Figura

233 e na Fonte: Arteris com base em *Google Street View/Earth*

Figura 234, respectivamente.

Figura 233 – Ponto sugerido de melhoria de acesso do km 53+300 da Rod. Fernão Dias (a) Streetview e (b) Satélite



(a)



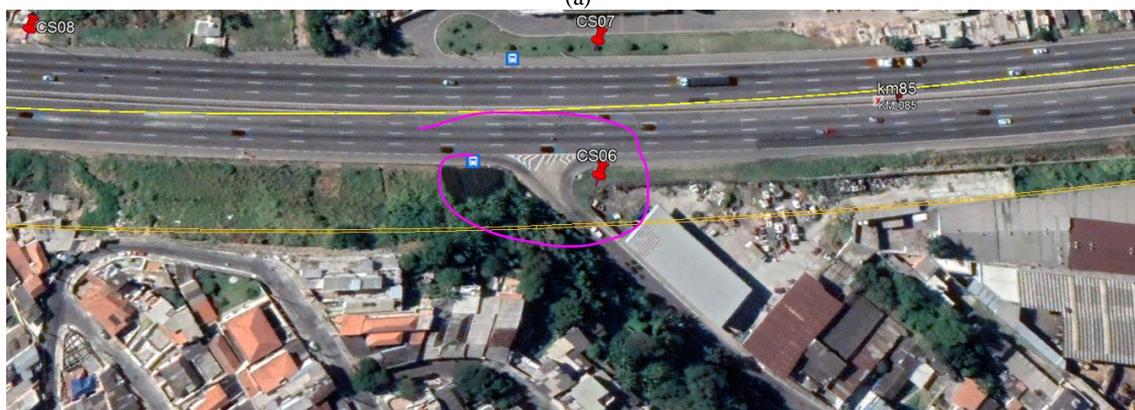
(b)

Fonte: Arteris com base em Google Street View/Earth

Figura 234 – Ponto sugerido de melhoria de acesso do km 84+900 da Rod. Fernão Dias (a) Streetview e (b) Satélite



(a)



(b)

Fonte: Arteris com base em Google Street View/Earth

Quanto às passarelas de pedestres, foram elencados para análise, no estado de Minas Gerais, os pontos: km 482+650 e km 496+650. No estado de São Paulo, foram elencados os pontos: km 84+950; km 78+310; km 86+450; km 87+180 e km 87+915. Os pontos para implantação de passarelas estão exemplificados nas figuras a seguir.

**Figura 235 – Ponto sugerido para a implantação de passarela de pedestres no km 482+650 da Rod. Fernão Dias**



Fonte: Arteris com base em *Google Earth*

**Figura 236 – Pontos sugeridos para a implantação de passarela de pedestres: km 87+180 e km87+915 da Rod. Fernão Dias**



Fonte: Arteris com base em *Google Street View/Earth*

## 7.2 Panorama de Oportunidades, Desafios e Recomendações Técnicas

Os desafios para implantação do pedagiamento *free-flow* em concessões rodoviárias no país são variados e diversos em sua natureza, como usualmente observa-se em contextos de inovação. Por outro lado, as oportunidades para introdução desta tecnologia de pedagiamento no país são também diversas, permitindo um leque de alternativas para implantações iniciais desta tecnologia, como:

- i. contratos de concessão em andamento,
- ii. estruturação de concessões de rodovias já concedidas previamente,
- iii. estruturação de concessões rodoviárias de rodovias nunca concedidas,
- iv. estruturação de concessões rodoviárias de vias a serem construídas,
- v. estruturação de concessões em contextos de ocupação diversos (urbano vs rural)
- vi. estruturação de concessões com distintos graus de controle de acesso (classe 0 vs classe I vs trechos urbanos)

Em um contexto mais geral, entende-se que a implementação do *free-flow* nas concessões rodoviárias nacionais passa por estágios distintos. Em cada estágio, requer-se maior atenção a dimensões específicas.

Nos estágios iniciais, deve-se buscar identificar um ambiente de riscos controlados e que apresente condições propícias para o sucesso de uma implantação piloto – isto é, uma implementação em que o grau de incerteza é elevado em diversas componentes do sistema e, logo, seu desempenho apresenta limitado grau de previsibilidade.

Na etapa de escolha do contexto para tal aplicação piloto, exemplifica-se a seguir dimensões de análise consideradas relevantes:

- **Disponibilidade de informações históricas de tráfego:** permitem a realização de análises diagnósticas e prognósticas, além de servirem como base para monitoramentos e análises empíricas dos efeitos e decorrências da implantação do sistema
- **Elevado uso de pagamento eletrônico via AVI:** de forma objetiva, propiciaria uma elevada adesão inicial ao sistema de pedagiamento, reduzindo a exposição do sistema a desafios associados a modalidades de pagamento complementares ao *free-flow*, tecnologias de fiscalização e perda de receita por evasão
- **Minimização do risco financeiro do projeto:** deve-se buscar oportunidades em que seja possível alcançar um baixo grau de risco financeiro. Isto pode ser alcançado tanto ao reduzir o grau de intrusão da implantação piloto, preservando a maior parte das fontes de receita pedagiada inalterada, quanto por meio de mecanismos de compartilhamento de risco
- **Compatibilidade com os diferentes estágios de implementação:** a seleção deve ser baseada em um planejamento compreensivo, buscando uma oportunidade adequada não apenas para a implantação piloto, mas também para os estágios subsequentes da implantação
- **Análise de viabilidade do plano de implementação:** nesta etapa inicial, devem ser aprofundadas as análises de viabilidade do plano de implementação em suas variadas disciplinas, e.g., técnica, operacional, política, jurídica.

Uma vez identificadas potenciais oportunidades para implantações piloto desta tecnologia, prossegue-se para um estágio mais prático da estratégia, ainda que em pequena escala. Nesta fase, o objetivo crítico é permitir a aprendizagem e o aprimoramento da estratégia de implementação, em um ciclo de retroalimentação entre planejamento e resultados, de forma que o monitoramento da operação se torna tão relevante quanto seu planejamento. Como dimensões relevantes de análise, cita-se:

- **Comunicação com usuários:** um elemento do sistema emerge como fundamental: os usuários das rodovias e do sistema de pedagiamento. Estratégias de comunicação são imprescindíveis e sua finalidade deve incluir a divulgação das características do sistema, a difusão dos benefícios e das responsabilidades dos usuários e a universalização do acesso ao sistema de pedagiamento operado sob esta tecnologia
- **Formulação de sistemas de incentivos e desincentivos:** em apoio à comunicação, incentivos e desincentivos devem ser combinados a fim de estimular que organicamente o comportamento dos usuários convirja para o comportamento necessário para o bom funcionamento e para a eficácia do sistema de pedagiamento *free-flow*. Como incentivos, cita-se a possibilidade de descontos e o fornecimento

gratuito ou subsidiado de OBUs<sup>48</sup>, ao passo que como desincentivos cita-se a possibilidade de sobrecobranças para pagamentos realizados de forma não-simultânea (e.g., cobrança via correio ou sítio digital) e a provisão de menor nível de serviço nos meios alternativos de pedagiamento (e.g., maior tempo de espera em cabines de cobrança manual)

- **Desenvolvimento tecnológico:** as diferentes tecnologias do sistema de pedagiamento *free-flow* são naturalmente postas à prova neste estágio, permitindo colher insumos valiosos para seu aprimoramento com base nas experiências desenvolvidas
- **Monitoramento de indicadores diversos:** como antecipado, o monitoramento da operação é crítico neste estágio, visando retroalimentar o planejamento e o desenho do sistema, e deve abranger indicadores de natureza diversa (e.g., operacionais, tecnológicos, financeiros)
- **Aprimoramento da fiscalização, da regulação e da gestão contratual:** o estágio de implantação piloto serve como estágio experimental para atividades que se dão em âmbitos de cunho menos científico, como os âmbitos regulatório, jurídico e institucional. A integração de diversos agentes em atividades como fiscalização e gestão contratual é fundamental e deve ser aprimorada nesta etapa, visando criar bases para aumentar sua eficácia progressivamente
- **Diversificação das iniciativas:** é conveniente que sejam implementadas ações piloto diversas, evitando que os processos descritos acima sejam influenciados por peculiaridades eventualmente presentes nos contextos selecionados e as conclusões obtidas, enviesadas. Com diversas ações em curso, as impressões colhidas e os indicadores medidos podem ser analisados de forma complementar, permitindo conclusões mais robustas

Por fim, após o ciclo inicial de aprimoramento, pode-se iniciar a trajetória de implementação de sistemas de pedagiamento *free-flow* de pleno funcionamento. O estágio inicial de tais trajetórias tende a ser um estágio de operação híbrida, em que sistemas tradicionais operam juntamente do sistema de pedagiamento *free-flow* como medida para reduzir a exposição dos projetos aos riscos inerentes ao pedagiamento exclusivamente *free-flow*. Nesta etapa, recomendamos analisar dimensões como as seguintes:

- **Monitoramento de indicadores para evolução da implantação:** é prudente que a transição de uma eventual configuração híbrida para uma configuração plena de operação do sistema de pedagiamento *free-flow* seja orientada por avaliações de risco associado à efetivação do sistema de pedagiamento exclusivamente *free-flow*. À medida que a percepção de risco vai se reduzindo – como à medida que a adesão a pagamento eletrônico aumentar e a evasão se reduzir –, tende a ser mais adequado prosseguir com o processo de transição. Para tanto, podem ser estabelecidos, *a priori*, gatilhos para acionamento das fases subsequentes do processo de transição. Alternativamente, caso as previsões de evolução do sistema se frustrem de forma relevante e tais gatilhos não sejam alcançados, é possível suspender total ou parcialmente o processo de transição

---

<sup>48</sup> *On-board units*, ou unidades embarcadas (em tradução livre): trata-se dos equipamentos necessários para utilização do sistema de pedagiamento por parte dos usuários, como os conhecidos “tags”.

- **Progressão gradual de implantação:** caso os estágios iniciais de operação se desempenhem de forma adequada, a progressão da implantação é natural
- **Operacionalização dos ritos de gestão contratual:** nesta etapa, processos ordinários de gestão contratual criados para endereçar questões associadas ao pedagiamento *free-flow*, como apuração das evasões e efetivação de eventuais ressarcimentos financeiros, devem ser funcionar regularmente e efetivamente
- **Aprimoramentos diversos:** mesmo após o processo de retroalimentação e aprendizagem desenvolvido no estágio de implantações piloto, é natural que haja margem para aprimoramentos contínuos diversos, e.g., tecnológicos, jurídicos, regulatórios, de fiscalização
- **Expansão da implantação da tecnologia de cobrança:** é igualmente natural que o uso desta tecnologia se expanda na malha viária nacional à medida que casos bem-sucedidos de operação plena dos sistemas de pedagiamento *free-flow* forem se concretizando.

### 7.3 Produtos Gerados

Acompanha este relatório, como anexo digital:

- Projeções de Tráfego e Receita:
  - Identificação: “Projeção de Tráfego Pedagiado e Receita (AAAAMMDD)”.
  - Descrição: Planilha eletrônica (.xlsx) contendo as projeções do tráfego pedagiado e receita para os cenários considerados neste estudo.

## 8 CAPACITAÇÃO TÉCNICA DE PESSOAL

Estava previsto no escopo deste trabalho a capacitação técnica de pessoal acerca dos resultados alcançados além dos relatórios de diagnósticos. Desta forma, na data de 24/10/2022, foi realizada apresentação, por meio virtual (Plataforma Teams), com a presença de colaboradores das empresas Arteris e Logit envolvidos no projeto, bem como de aproximadamente 160 pessoas da ANTT. A fim de serem cumpridos os respectivos itens do projeto:

- a) Apresentar e divulgar os resultados das análises realizadas durante o projeto;
- b) Retorno de experiência sobre as dificuldades e obstáculos para a realização do projeto, indicando as lições aprendidas a serem aplicadas em projetos futuros;
- c) Capacitar outras equipes técnicas a realizarem as mesmas análises em outras concessões;
- d) Promover discussões e recomendações técnicas a respeito dos benefícios e os principais gargalos no processo de implantação do sistema Free-Flow em concessões rodoviárias brasileiras.

## Apêndice 1 Composição veicular nos postos de pesquisa de Contagem Volumétrica Classificatória (CVC)

Neste apêndice é apresentado a composição veicular nos postos de pesquisa da Contagem Volumétrica Classificatória (CVC) na hora-pico manhã e na hora-pico tarde. As categorias apresentadas contemplam Automóveis, Caminhões com 2 a 4 eixos, e Caminhões com 5 ou mais eixos.

**Tabela 52 – Número de veículos por categoria dos postos da Pesquisa Volumétrica Classificatória na Rodovia Fernão Dias**

Posto	HPM			HPT		
	Automóveis	C24	C5M	Automóveis	C24	C5M
S0_Norte_1	1.054	216	67	1.540	208	80
S0_Norte_2	2.121	194	26	2.866	159	25
S0_Norte_3	1.612	259	48	2.738	232	91
S0_Sul_1	2.222	242	38	1.933	187	23
S0_Sul_2	3.558	345	167	3.085	441	138
S1_Norte_1	2.063	188	27	3.627	182	28
S1_Norte_2	1.863	446	116	3.266	381	167
S1_Sul_1	3.798	187	26	3.084	196	17
S1_Sul_2	2.278	340	181	1.853	354	135
S10_Norte_1	1.824	262	93	2.279	322	156
S10_Sul_1	1.927	335	191	2.326	368	135
S2_Norte_1	1.983	219	28	3.413	180	27
S2_Norte_2	1.999	379	103	3.505	333	156
S2_Sul_1	3.976	241	34	3.114	216	23
S2_Sul_2	2.256	337	177	2.040	369	135
S29_Norte_1	355	132	264	434	141	183
S29_Sul_1	420	140	212	331	160	281
S3_Norte_1	2.634	424	148	4.719	421	202
S3_Sul_1	3.957	413	204	2.879	426	154
S30_Norte_1	1.223	221	328	1.370	175	222
S30_Sul_1	1.189	217	264	1.495	197	285
S31_Norte_1	69	4	5	66	6	3
S31_Norte_2	1.428	217	256	1.451	235	276
S31_Sul_1	1.215	253	303	1.572	203	234
S32_Norte_1	1.992	256	295	2.031	230	238
S32_Sul_1	1.747	300	248	2.322	230	288
S33_Norte_1	1.612	207	211	1.614	217	182
S33_Sul_1	615	31	9	949	25	21
S33_Sul_2	976	213	168	1.296	164	116
S34_Norte_1	1.986	215	211	2.348	237	174
S34_Sul_1	312	24	3	404	12	5
S34_Sul_2	2.148	323	135	2.478	163	167
S35_Norte_1	2.853	313	266	2.524	241	191
S35_Sul_1	2.600	323	253	3.894	275	218

Posto	HPM			HPT		
	Automóveis	C24	C5M	Automóveis	C24	C5M
S36_Norte_1	3.163	392	281	3.180	284	281
S36_Sul_1	3.451	392	301	4.316	435	401
S37_Norte_1	1.715	249	73	1.957	147	51
S37_Norte_2	2.652	341	244	2.785	238	240
S37_Sul_1	1.627	129	28	2.376	137	34
S37_Sul_2	3.412	372	300	3.903	386	357
S39_Norte_1	1.067	64	11	951	37	7
S39_Norte_2	2.656	415	274	2.973	218	217
S39_Sul_1	168	18	3	321	26	12
S39_Sul_2	2.898	326	280	2.934	309	256
S4_Norte_1	2.621	428	150	4.775	450	206
S4_Sul_1	3.883	384	190	2.951	413	155
S40_Norte_1	2.634	349	252	2.710	200	249
S40_Sul_1	3.149	287	287	3.887	341	348
S41_Norte_1	3.285	348	246	3.040	191	237
S41_Sul_1	3.123	237	287	3.561	293	329
S5_Norte_1	2.215	426	140	3.417	427	244
S5_Sul_1	3.696	406	196	2.700	498	231
S6_Norte_1	2.157	369	141	2.875	426	203
S6_Sul_1	2.707	404	213	2.471	432	193
S8_Norte_1	2.196	375	119	2.501	387	169
S8_Sul_1	2.517	398	184	2.367	445	144

Fonte: Elaboração LOGIT

## Apêndice 2 Detalhamento dos índices GEH dos postos de controle de volume na rede

As tabelas a seguir apresentam de forma detalhada os índices de GEH para cada um dos pontos analisados, tanto para a hora-pico manhã como para a hora-pico tarde. Além dos pontos de pesquisa da CVC (item 4.1.1), foram também adicionados como pontos de controle as praças de pedágio (P-01, P-02, P-07 e P-08), bem como os pontos de contorno utilizados para as matrizes interceptadas.

Além disso, para a RMSP, foram excluídos os pontos de contagem P7 e P8 na Dutra, dado que a alça de acesso da Marginal Tietê - Pista Expressa para Rod. Pres. Dutra - Pista Expressa - à época das pesquisas de campo estava interditada. Deste modo, não estavam disponíveis os volumes observados na alça complementar do P6, o que pode afetar os valores tanto no P6 quanto no P7 na calibração.

Vale ressaltar que para os pontos indicados com GEH superior a 10 são apresentadas as justificativas para a aceitação da calibração do modelo, de modo a refutar a hipótese de calibração inadequada do modelo – sendo considerado o critério apresentado anteriormente apenas para o conjunto de postos de contagem com GEH inferior a 10. A última coluna das tabelas de avaliação GEH por ponto de controle, identificada pelo símbolo “!”, sinaliza os pontos em que o critério de GEH máximo de 10 não é satisfeito analiticamente e cuja argumentação para a aceitação da calibração é explicada abaixo.

Foi considerado o aceite de postos para os quais o GEH resultou superior a 10 e o volume alocado resultou superior ao observado, conforme mencionado, com base na distinção entre fluxo de tráfego e demanda de tráfego. Em condições de congestionamento, o fluxo de tráfego perde a relação de equivalência com a demanda de tráfego, resultando naturalmente inferior.

**Tabela 53 – Avaliação do GEH por ponto de controle na RMSP (HPM)**

Fonte	Ponto	Observado			Modelo			GEH			!
		Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	
CVC Ayrton Senna	P13_Leste	5.555	444	88	5.787	768	104	3	13	2	S
	P13_Oeste	6.537	1.485	210	6.627	1.240	189	1	7	1	
	P14_Leste	5.112	1.080	130	4.869	941	170	3	4	3	
	P14_Oeste	6.656	988	284	6.429	1.119	205	3	4	5	
	P15_Leste	4.154	748	147	3.914	869	134	4	4	1	
	P15_Oeste	6.167	826	226	5.557	826	196	8	0	2	
CVC Dutra	P1_Leste	12.555	1.583	283	13.150	1.754	274	5	4	1	
	P1_Oeste	17.857	2.169	374	18.172	2.062	387	2	2	1	
	P10_Leste	6.636	688	241	6.905	804	255	3	4	1	
	P10_Oeste	6.063	983	266	7.077	1.368	395	13	11	7	S
	P11_Leste	4.830	651	207	5.039	693	275	3	2	4	
	P11_Oeste	5.994	1.337	329	6.072	1.057	367	1	8	2	
	P12_Leste	2.805	545	205	3.513	682	305	13	6	6	S
	P12_Oeste	2.618	645	273	3.730	913	305	20	10	2	S
	P2_Norte	3.302	254	37	3.395	229	27	2	2	2	
	P2_Sul	3.452	575	47	3.586	570	54	2	0	1	
P3_Norte	4.475	672	134	4.955	745	189	7	3	4		

Fonte	Ponto	Observado			Modelo			GEH			!	
		Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM		
	P3_Sul	4.995	537	169	5.531	718	229	7	7	4		
	P4_Norte	3.967	377	31	3.862	415	30	2	2	0		
	P4_Sul	2.849	491	44	3.094	636	46	4	6	0		
	P5_Leste	1.597	144	5	1.735	111	29	3	3	6		
	P5_Oeste	3.032	202	10	2.843	275	27	3	5	4		
	P7_Oeste	10.743	1.307	280	10.452	1.381	355	3	2	4		
	P8_Leste	7.858	1.142	274	7.622	921	347	3	7	4		
	P8_Oeste	7.355	884	284	7.413	1.299	422	1	13	7	S	
	P9_Leste	7.022	849	269	6.635	804	266	5	2	0		
	P9_Oeste	7.316	1.353	296	7.371	1.377	398	1	1	5		
CVC Fernão Dias	S0_Norte	4.787	668	141	4.955	745	189	2	3	4		
	S0_Sul	5.780	587	205	5.531	718	229	3	5	2		
	S1_Norte	3.926	634	143	4.872	688	171	14	2	2	S	
	S1_Sul	6.059	513	205	5.904	672	231	2	7	2		
	S10_Norte	1.824	262	93	1.941	301	142	3	2	5		
	S10_Sul	3.853	669	382	4.032	750	366	3	3	1		
	S2_Norte	1.999	379	103	2.197	406	135	4	1	3		
	S2_Sul	4.356	527	204	5.660	687	237	18	7	2	S	
	S3_Norte	2.634	424	148	2.619	489	148	0	3	0		
	S3_Sul	3.957	413	204	3.723	582	220	4	8	1		
	S4_Norte	2.621	428	150	2.299	474	148	6	2	0		
	S4_Sul	3.883	384	190	3.603	577	233	5	9	3		
	S5_Norte	2.215	426	140	2.310	543	148	2	5	1		
	S5_Sul	3.696	406	196	3.603	577	233	2	8	3		
	S6_Norte	2.157	369	141	2.173	516	137	0	7	0		
	S6_Sul	2.707	404	213	2.593	601	238	2	9	2		
	S8_Norte	2.196	375	119	2.553	415	147	7	2	2		
	S8_Sul	2.517	398	184	2.814	605	240	6	9	4		
		SAT 2 Norte	1.996	529	92	2.299	474	148	7	2	5	
		SAT1 Sul	1.443	299	215	1.384	308	220	2	0	0	
Linha de Contorno	801 Entrando	1.393	310	114	1.368	316	162	1	0	4		
	801 Saindo	993	325	156	1.234	315	143	7	1	1		
	802 Entrando	844	491	188	725	475	184	4	1	0		
	802 Saindo	812	335	238	771	280	225	1	3	1		
	803 Entrando	1.082	236	191	1.035	360	309	1	7	7		
	803 Saindo	869	173	80	929	268	126	2	6	5		
	804 Entrando	246	322	549	48	197	619	16	8	3	S	
	804 Saindo	276	255	307	312	255	356	2	0	3		
	805 Entrando	1.873	98	434	2.054	109	132	4	1	18	S	
	805 Saindo	1.342	89	287	1.280	119	305	2	3	1		
	806 Entrando	253	368	388	291	380	482	2	1	5		

Fonte	Ponto	Observado			Modelo			GEH			!
		Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	
	806 Saindo	212	325	269	276	421	319	4	5	3	
	807 Entrando	416	58	8	537	142	51	6	8	8	
	807 Saindo	241	47	14	345	89	36	6	5	4	
	808 Entrando	2.074	513	531	1.983	473	528	2	2	0	
	808 Saindo	1.586	534	278	1.583	537	374	0	0	5	
	809 Entrando	1.313	393	96	1.524	707	125	6	13	3	S
	809 Saindo	958	217	112	813	263	116	5	3	0	
	810 Entrando	3.578	1.098	310	3.460	760	283	2	11	2	S
	810 Saindo	3.128	759	320	3.434	800	312	5	1	0	
	811 Entrando	113	17	2	162	31	-	4	3	2	
	811 Saindo	90	16	1	90	-	-	0	6	1	
	814 Entrando	456	76	8	557	88	-	4	1	4	
	814 Saindo	460	57	5	435	98	-	1	5	3	
	815 Entrando	388	117	47	547	183	59	7	5	2	
	815 Saindo	322	77	52	415	79	54	5	0	0	
Pedágio	P-01_Norte	1.609	325	62	1.767	351	107	4	1	5	
	P-01_Sul	1.979	389	127	1.812	505	195	4	5	5	
	P-02_Norte	779	198	148	888	246	161	4	3	1	
	P-02_Sul	605	248	206	763	286	226	6	2	1	
	P-07_Norte	265	161	131	331	215	178	4	4	4	
	P-07_Sul	293	125	81	357	178	117	4	4	4	
	P-08_Norte	287	169	126	331	215	178	3	3	4	
	P-08_Sul	333	137	76	357	178	117	1	3	4	

Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 54 – Avaliação do GEH por ponto de controle na RMSP (HPT)**

Fonte	Ponto	Observado			Modelo			GEH			!
		Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	
CVC Ayrton Senna	P13_Leste	6.793	721	95	7.551	648	130	9	3	3	
	P13_Oeste	6.086	851	163	6.385	675	132	4	6	3	
	P14_Leste	7.703	482	104	7.401	529	131	3	2	3	
	P14_Oeste	6.552	580	195	6.213	687	153	4	4	3	
	P15_Leste	5.037	379	113	5.628	459	159	8	4	4	
	P15_Oeste	6.401	551	202	6.009	538	179	5	1	2	
CVC Duira	P1_Leste	13.159	824	213	14.983	1.024	265	15	7	3	S
	P1_Oeste	12.513	883	165	12.979	969	210	4	3	3	
	P10_Leste	6.436	730	230	6.570	848	229	2	4	0	
	P10_Oeste	5.645	609	221	6.740	771	342	14	6	7	S
	P11_Leste	6.265	824	240	6.109	820	276	2	0	2	
	P11_Oeste	4.907	705	273	4.536	706	259	5	0	1	
	P12_Leste	2.783	689	254	3.422	857	274	11	6	1	S

Fonte	Ponto	Observado			Modelo			GEH			!
		Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	
	P12_Oeste	2.467	607	457	2.822	801	415	7	7	2	
	P2_Norte	3.525	361	50	3.076	338	51	8	1	0	
	P2_Sul	4.360	240	17	4.305	252	43	1	1	5	
	P3_Norte	6.922	511	179	7.705	632	210	9	5	2	
	P3_Sul	4.731	584	180	4.635	720	198	1	5	1	
	P4_Norte	3.422	298	39	3.808	392	38	6	5	0	
	P4_Sul	2.445	226	32	3.190	348	65	14	7	5	S
	P5_Leste	2.553	113	4	2.626	109	31	1	0	6	
	P5_Oeste	1.976	90	7	2.597	139	25	13	5	4	S
	P7_Oeste	7.305	678	143	7.807	686	221	6	0	6	
	P8_Leste	7.866	1.224	283	7.496	1.006	320	4	7	2	
	P8_Oeste	6.471	562	236	6.628	644	249	2	3	1	
	P9_Leste	6.814	939	255	6.230	901	246	7	1	1	
	P9_Oeste	6.727	753	284	6.667	858	338	1	4	3	
CVC Fernão Dias	S0_Norte	7.144	599	196	7.705	632	211	7	1	1	
	S0_Sul	5.018	628	162	4.635	720	198	6	4	3	
	S1_Norte	6.893	563	195	7.999	673	205	13	4	1	S
	S1_Sul	4.937	550	152	5.394	668	204	6	5	4	
	S10_Norte	2.279	322	156	2.276	402	211	0	4	4	
	S10_Sul	4.652	735	270	4.932	878	282	4	5	1	
	S2_Norte	3.505	333	156	3.960	406	155	7	4	0	
	S2_Sul	5.664	574	164	5.360	679	205	4	4	3	
	S3_Norte	4.719	421	202	5.027	534	217	4	5	1	
	S3_Sul	2.879	426	154	3.249	532	193	7	5	3	
	S4_Norte	4.775	450	206	4.280	431	215	7	1	1	
	S4_Sul	2.951	413	155	3.122	538	200	3	6	3	
	S5_Norte	3.417	427	244	3.948	477	217	9	2	2	
	S5_Sul	2.700	498	231	3.122	538	200	8	2	2	
	S6_Norte	2.875	426	203	3.330	464	214	8	2	1	
	S6_Sul	2.471	432	193	2.265	570	198	4	6	0	
	S8_Norte	2.501	387	169	2.326	557	240	4	8	5	
	S8_Sul	2.367	445	144	2.658	585	202	6	6	4	
	SAT 2 Norte	3.600	583	159	4.280	431	215	11	7	4	S
	SAT1 Sul	1.539	296	162	1.465	301	170	2	0	1	
Linha de Contorno	801 Entrando na RMSP	1.370	330	121	1.533	398	119	4	4	0	
	801 Saindo da RMSP	1.575	315	151	1.697	311	185	3	0	3	
	802 Entrando na RMSP	668	271	104	636	252	156	1	1	0	
	802 Saindo da RMSP	964	340	241	917	392	272	2	3	2	
	803 Entrando na RMSP	856	130	106	892	192	153	1	5	4	

Fonte	Ponto	Observado			Modelo			GEH			!
		Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	
	803 Saindo da RMSP	1.031	175	81	1.025	247	136	0	5	5	
	804 Entrando na RMSP	195	178	304	390	178	319	11	0	1	S
	804 Saindo da RMSP	328	258	311	237	296	301	5	2	1	
	805 Entrando na RMSP	1.482	54	240	1.264	89	317	6	4	5	
	805 Saindo da RMSP	1.593	90	290	1.472	60	270	3	4	1	
	806 Entrando na RMSP	200	203	215	260	270	261	4	4	3	
	806 Saindo da RMSP	251	329	273	322	339	295	4	1	1	
	807 Entrando na RMSP	329	32	4	427	82	39	5	7	7	
	807 Saindo da RMSP	286	47	14	339	93	32	3	5	4	
	808 Entrando na RMSP	1.641	284	293	1.588	264	299	1	1	0	
	808 Saindo da RMSP	1.882	541	281	1.857	534	276	1	0	0	
	809 Entrando na RMSP	1.039	217	53	1.040	308	89	0	6	4	
	809 Saindo da RMSP	1.137	220	113	1.165	315	165	1	6	4	
	810 Entrando na RMSP	2.831	607	171	2.980	598	143	3	0	2	
	810 Saindo da RMSP	3.713	769	324	4.155	814	318	7	2	0	
	811 Entrando na RMSP	89	10	1	85	-	-	0	4	1	
	811 Saindo da RMSP	106	16	1	140	31	-	3	3	1	
	814 Entrando na RMSP	361	42	5	348	74	-	1	4	3	
	814 Saindo da RMSP	546	58	5	442	57	-	5	0	3	
	815 Entrando na RMSP	307	64	26	400	79	29	5	2	1	
	815 Saindo da RMSP	382	78	53	475	78	51	4	0	0	
Pedágio	P-01_Norte	1.878	444	111	1.884	530	174	0	4	5	
	P-01_Sul	2.103	457	74	2.064	526	111	1	3	4	
	P-02_Norte	922	291	161	921	293	214	0	0	4	
	P-02_Sul	894	243	125	1.043	306	167	5	4	3	
	P-07_Norte	311	139	95	355	194	130	2	4	3	
	P-07_Sul	368	178	120	453	239	164	4	4	4	
	P-08_Norte	341	142	89	355	194	130	1	4	4	
	P-08_Sul	390	201	116	453	239	164	3	3	4	

Fonte: Elaboração LOGIT

Na análise da RMSP, no período da manhã destacam-se os pontos: P13 Leste, P10 Oeste, P12 Leste e Oeste, P8 Oeste, S1 Norte, S2 Sul, 804, 805, 809 e 810 entrando na RMSP; já no período da tarde, os pontos P1 Leste, P10 Oeste, P12 Leste, P4 Sul, P5 Oeste, S1 Norte, SAT 2 Norte e 804 entrando na RMSP se destacam com GEH maiores do que 10. Destes, apenas o 804, 805 e 810 entrando na RMSP (HPM) são relevantes, pois apresentaram volume alocado menor do que observado.

Como se trata de pontos na linha de contorno, por serem regiões mais afastadas da área de estudo, o modelo possui menor precisão. Assim, trata-se de um problema similar à questão da distribuição nas pistas de uma mesma via, com a distribuição das viagens para dentro ou fora da RMSP podendo variar dentre as rodovias que são eixos de transporte de interligações similares no contexto da área de estudo. É o caso dos pontos 804 e 805, nas rodovias Anchieta e Imigrantes, respectivamente, bem como dos pontos 809, 810 e 814, nas vias Anhanguera, Bandeirantes e Raimundo Pereira Magalhães. Assim, uma análise conjunta desses pontos mostra um melhor comportamento do GEH:

**Tabela 55 – Avaliação do GEH dos pontos da linha de contorno nas rodovias Anchieta e Imigrantes no período da manhã**

HPM	Observado			Alocado			GEH		
	Auto	C24	C5M	Auto	C24	C5M			
804 Entrando na RMSP	246	322	549	48	197	619	Auto	C24	C5M
805 Entrando na RMSP	1.873	98	434	2.054	109	132			
Soma	2.120	420	983	2.102	306	751			

Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 56 – Avaliação do GEH dos pontos da linha de contorno nas rodovias Anhanguera, Bandeirantes e Raimundo Pereira Magalhães no período da manhã**

HPT	Observado			Alocado			GEH		
	Auto	C24	C5M	Auto	C24	C5M			
809 Saindo da RMSP	1.313	393	96	1.524	707	125	Auto	C24	C5M
810 Saindo da RMSP	3.578	1.098	310	3.460	760	283			
814 Saindo da RMSP	456	76	8	557	88	0			
Soma	5.347	1.567	414	5.541	1.555	408	3	0	0

Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 57 – Avaliação do GEH por ponto de controle na RMBH (HPM)**

Fonte	Ponto	Observado			Modelo			GEH			!
		Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	
Pedágio	P-07 Norte	262	160	129	292	214	173	2	4	4	
	P-07 Sul	293	125	81	302	179	119	1	4	4	
	P-08 Sul	333	137	76	327	168	118	0	3	4	
	P-08 Norte	287	169	126	285	196	178	0	2	4	
Linha de	Posto 10 Entrando na RMBH	396	223	60	392	211	61	0	1	0	
	Posto 10 Saindo da RMBH	531	213	75	522	192	69	0	1	1	

Fonte	Ponto	Observado			Modelo			GEH			!	
		Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM		
RMBH	Posto 12 Entrando na RMBH	28	12	-	30	24	1	0	3	1		
	Posto 12 Saindo da RMBH	23	6	-	29	13	4	1	2	3		
	Posto 15 Saindo da RMBH	218	135	83	302	179	119	5	4	4		
	Posto 15 Entrando na RMBH	225	183	122	292	214	173	4	2	4		
	Posto 18 Entrando na RMBH	258	125	25	242	113	27	1	1	0		
	Posto 18 Saindo da RMBH	245	130	24	245	122	28	0	1	1		
	Posto 19 Entrando na RMBH	225	78	40	208	105	73	1	3	4		
	Posto 19 Saindo da RMBH	190	129	44	250	123	73	4	1	4		
	Posto 6 Saindo da RMBH	322	220	57	408	227	96	5	0	4		
	Posto 6 Entrando na RMBH	339	165	54	429	185	91	5	2	4		
	Posto 9 Entrando na RMBH	363	67	11	479	113	33	6	5	5		
	Posto 9 Saindo da RMBH	316	85	19	424	155	30	6	6	2		
	CVC	S29 Norte	355	132	264	390	136	258	2	0	0	
		S29 Sul	420	140	212	414	155	202	0	1	1	
		S30 Sul	1.189	217	264	1.333	231	293	4	1	2	
		S30 Norte	1.223	221	328	1.352	221	306	4	0	1	
S31 Sul		1.280	257	308	1.466	251	304	5	0	0		
S31 Norte		1.428	217	256	1.601	226	298	4	1	3		
S32 Sul		1.747	300	248	1.945	309	313	5	1	4		
S32 Norte		1.992	256	295	1.966	283	308	1	2	1		
S33 Norte		1.612	207	211	1.792	257	278	4	3	4		
S33 Sul		1.591	222	199	1.712	306	242	3	5	3		
S34 Sul		2.460	326	159	2.406	329	215	1	0	4		
S34 Norte		1.986	215	211	2.232	287	284	5	5	5		
S35 Norte	2.853	313	266	2.807	383	301	1	4	2			
S35 Sul	2.600	323	253	2.873	386	331	5	3	5			
S36 Norte	3.163	392	281	3.645	518	290	8	6	1			
S36 Sul	3.451	392	301	3.748	481	350	5	4	3			
S37 Sul	5.542	547	347	4.975	559	366	8	1	1			
S37 Norte	4.367	590	317	4.203	564	370	3	1	3			

Fonte	Ponto	Observado			Modelo			GEH			!
		Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	Auto HPM	C24 HPM	C5M HPM	
S	S38 Sul (Virtual)	3.066	329	298	3.940	470	365	15	7	4	
	S39 Norte	3.723	479	285	4.252	625	355	8	6	4	
	S40 Norte	2.634	349	252	2.876	349	248	5	0	0	
	S40 Sul	3.149	287	287	2.939	311	283	4	1	0	
	S41 Norte	3.285	348	246	3.022	422	273	5	4	2	
	S41 Sul	3.123	237	287	3.425	319	295	5	5	0	

Fonte: Elaboração LOGIT

**Tabela 58 – Avaliação do GEH por ponto de controle na RMBH (HPT)**

Fonte	Ponto	Observado			Modelo			GEH			!	
		Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT		
Pedágio	P-07 Norte	311	133	95	275	183	126	2	4	3		
	P-07 Sul	368	176	120	342	221	158	1	3	3		
	P-08 Sul	390	201	116	384	200	164	0	0	4		
	P-08 Norte	341	142	89	339	178	125	0	3	3		
	Posto 10 Entrando na RMBH	377	199	43	371	195	39	0	0	1		
	Posto 10 Saindo da RMBH	502	195	51	494	178	51	0	1	0		
Linha de Contorno	Posto 12 Entrando na RMBH	23	18	-	29	17	-	1	0	0		
	Posto 12 Saindo da RMBH	20	7	-	29	23	2	2	4	2		
	Posto 15 Saindo da RMBH	224	156	99	342	221	158	7	5	5		
	Posto 15 Entrando na RMBH	164	176	67	275	183	126	7	1	6		
	Posto 18 Entrando na RMBH	282	126	25	281	122	27	0	0	0		
	Posto 18 Saindo da RMBH	300	112	26	300	105	27	0	1	0		
	Posto 19 Entrando na RMBH	166	74	52	194	76	89	2	0	4		
	Posto 19 Saindo da RMBH	322	108	58	320	107	90	0	0	4		
	Posto 6 Saindo da RMBH	410	179	64	505	183	103	4	0	4		
	Posto 6 Entrando na RMBH	381	185	54	470	195	87	4	1	4		
	Posto 9 Entrando na RMBH	356	65	11	465	117	31	5	5	4		
	Posto 9 Saindo da RMBH	427	58	22	540	98	42	5	5	4		
	CV	S29 Norte	434	141	183	448	167	174	1	2	1	

Fonte	Ponto	Observado			Modelo			GEH			!
		Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	Auto HPT	C24 HPT	C5M HPT	
	S29 Sul	331	160	281	362	161	257	2	0	1	
	S30 Sul	1.495	197	285	1.580	200	289	2	0	0	
	S30 Norte	1.370	175	222	1.539	208	231	4	2	1	
	S31 Sul	1.646	209	237	1.875	208	293	5	0	3	
	S31 Norte	1.451	235	276	1.563	230	257	3	0	1	
	S32 Sul	2.322	230	288	2.559	243	303	5	1	1	
	S32 Norte	2.031	230	238	2.015	294	266	0	4	2	
	S33 Norte	1.614	217	182	1.806	280	241	5	4	4	
	S33 Sul	2.245	189	137	2.204	243	212	1	4	6	
	S34 Sul	2.882	175	172	2.957	245	187	1	5	1	
	S34 Norte	2.348	237	174	2.297	284	245	1	3	5	
	S35 Norte	2.524	241	191	2.448	332	232	2	5	3	
	S35 Sul	3.894	275	218	3.853	335	287	1	3	4	
	S36 Norte	3.180	284	281	3.663	382	275	8	5	0	
	S36 Sul	4.316	435	401	4.972	471	390	10	2	1	
	S37 Sul	6.279	523	391	5.975	576	392	4	2	0	
	S37 Norte	4.742	385	291	4.915	382	319	2	0	2	
	S38 Sul (Virtual)	3.255	335	268	4.129	487	385	14	7	6	S
	S39 Norte	3.924	255	224	4.247	251	310	5	0	5	
	S40 Norte	2.710	200	249	2.608	198	243	2	0	0	
	S40 Sul	3.887	341	348	3.403	322	325	8	1	1	
	S41 Norte	3.040	191	237	3.016	260	257	0	5	1	
	S41 Sul	3.561	293	329	4.029	371	335	8	4	0	

Fonte: Elaboração LOGIT

Já no caso da RMBH, apenas o ponto S38, um ponto virtual representando a soma das pistas do S39 no sentido norte, apresentou GEH maior do que 10, em ambos os períodos. No entanto, trata-se do caso já mencionado como aceitável, com volume alocado maior que observado.