# \ MODERNIZAÇÃO DA MOBILIDADE NA RMBH

UMA NOVA ABORDAGEM DOS MODELOS DE GESTÃO, OPERAÇÃO E DE CONTRATAÇÃO DOS SERVICOS

**P8**ETAPA 3

# REORGANIZAÇÃO DA REDE E SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS

**FEVEREIRO 2022** 





#### GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Romeu Zema Neto Governador

Paulo Eduardo Rocha Brant Vice-Governador

#### SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MOBILIDADE

Fernando Scharlack Marcato Secretário de Estado

Gabriel Ribeiro Fajardo Subsecretário de Mobilidade e Transportes

Silvia Machado Lage Superintendente de Transporte Metropolitano

## EQUIPE DE COORDENAÇÃO TÉCNICA

Gabriel Ribeiro Fajardo | Msc. Direito Público Joana Campos Brasil | Msc. Transportes e Mobilidade Urbana Samuel Herthel Cunha e Silva | Msc. Engenharia de Transportes Silvia Machado Lage | Msc. Filosofia

## AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

Mila Batista Leite Corrêa da Costa Diretora-Geral

José Cesar Mássimo Faria Chefe de Gabinete

Charliston Marques Moreira Diretor de Planejamento Metropolitano Articulação e Intersetorialidade

Maria da Glória de Melo Pinheiro Diretora de Regulação Metropolitana

Gabrielle Sperandio Malta

## Núcleo para Assessoramento Técnico Especial

## EQUIPE DE COORDENAÇÃO TÉCNICA

Charliston Marques Moreira | Msc. Engenharia de Transportes Diego Pessoa Santos | Msc. Administrador Público

# **SUMÁRIO**

LIST	TA DE SIGLAS	8
LIST	ΓA DE FIGURAS	g
LIST	ΓA DE TABELAS	15
APF	RESENTAÇÃO	17
1.	INTRODUÇÃO	20
2.	LEVANTAMENTO DE DADOS	22
2.1.	CARACTERÍSTICAS DAS FONTES DE DADOS	22
2.2.	ZONEAMENTO DA RMBH	27
2.3.	MATRIZ OD DE BILHETAGEM ELETRÔNICA 2019	30
	2.3.1. VANTAGENS	30
	2.3.2. METODOLOGIA	30
	2.3.3. ANÁLISE DOS DADOS	34
	2.3.4. RESULTADOS	35
2.4.	MATRIZ OD PESSOAS 2019 E 2021 - TELEFONIA	37
	2.4.1. METODOLOGIA	37
	2.4.2. RESULTADOS	38
	2.4.3. LIMITAÇÕES	39
2.5.	MATRIZ OD PESSOAS 2021 - APLICATIVOS	40
	2.5.1. METODOLOGIA	41
	2.5.2. RESULTADOS	46
	2.5.3. LIMITAÇÕES	48
2.6.	ANÁLISES COMPARATIVAS	48
	2.6.1. DIVISÃO MODAL E ÍNDICE DE MOBILIDADE	48
	2.6.2. COMPARAÇÃO ENTRE AS MATRIZES MAIS RECENTES	54
3.	MODELO DE DEMANDA	57

3.1.	OBJETIVOS E ARQUITETURA DO MODELO	57
3.2.	ETAPA DE GERAÇÃO	58
	3.2.1. ANÁLISE DE REGRESSÃO PARA GERAÇÃO DE VIAGENS	58
	3.2.2. PROJEÇÃO DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS	63
	3.2.3. APLICAÇÃO DA ETAPA DE GERAÇÃO	68
3.3.	ETAPA DE DISTRIBUIÇÃO	69
3.4.	ETAPA DE MIGRAÇÃO	69
3.5.	ETAPA DE ALOCAÇÃO	71
4.	MODELO DE SIMULAÇÃO	72
4.1.	ZONAS DE TRANSPORTE	72
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO	73
4.3.	MODELO DE ALOCAÇÃO	74
	4.3.1. MÉTODO DE ALOCAÇÃO	74
	4.3.2. VALOR DO TEMPO	75
	4.3.3. RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE	76
4.4.	CALIBRAÇÃO DO MODELO	77
	4.4.1. MATRIZ DO ANO BASE (2019)	77
	4.4.2. METODOLOGIA DE CALIBRAÇÃO	77
	4.4.3. CALIBRAÇÃO DE TERMINAIS	78
	4.4.4. CALIBRAÇÃO DE ESTAÇÕES DO METRÔ	80
5.	REDES FUTURAS	82
5.1.	CESTAS DE PROJETOS	82
5.2.	PROJETOS NÃO PRIORIZADOS NO ÂMBITO DO TRANSPORTE COLETIVO	85
	5.2.1. RODOANEL METROPOLITANO	86
5.3.	ANÁLISE DE LINHAS DE DESEJO	91
5.4.	REORGANIZAÇÃO DAS REDES	98
	5.4.1. DIRETRIZES	98
	5.4.2. TERMINAIS DE INTEGRAÇÃO	99
	5.4.3. SECCIONAMENTO DE LINHAS METROPOLITANAS E MUNICIPAIS: SISTEMAS TRONCAL E ALIMENTADOR	101
	5.4.4. INTEGRAÇÃO TARIFÁRIA DOS SISTEMAS DE TRANSPORTE	108

5.5.	5. PILOTO DE RACIONALIZAÇÃO EM NÍVEL MUNICIPAL: SANTA LUZIA				
	5.5.1. DINÂMICA DE CIRCULAÇÃO	113			
	5.5.2. DIRETRIZES PARA A RACIONALIZAÇÃO	120			
	5.5.3. PROPOSTAS DE RACIONALIZAÇÃO	120			
	5.5.4. RESULTADOS DO MODELO DE DEMANDA	130			
	5.5.5. RECOMENDAÇÕES PARA PROJETOS DE INFRAESTRUTURA	141			
6.	HORIZONTES ESTUDADOS	152			
6.1.	CURTO PRAZO - 2027	152			
6.2.	2. MÉDIO PRAZO - 2032				
6.3.	LONGO PRAZO - 2042	157			
7.	CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO	160			
7.1.	CENÁRIOS CO - ATUAL	162			
7.2.	CENÁRIOS C1 - CURTO PRAZO	163			
	7.2.1. CENÁRIO C1SB	164			
7.3.	CENÁRIOS C2 - MÉDIO PRAZO	165			
	7.3.1. CENÁRIO C2T	165			
	7.3.2. CENÁRIO C2USB	167			
7.4.	CENÁRIOS C3 - LONGO PRAZO	169			
	7.4.1. CENÁRIO C3T	169			
	7.4.2. CENÁRIO C3USB	171			
8.	RESULTADOS	173			
8.1.	EFEITOS DA MIGRAÇÃO	173			
	8.1.1. MIGRAÇÃO C1 - CURTO PRAZO	175			
	8.1.2. MIGRAÇÃO C2 - MÉDIO PRAZO	179			
	8.1.3. MIGRAÇÃO C3 - LONGO PRAZO	184			
8.2.	INDICADORES	189			
	8.2.1. TARIFAS	194			
	8.2.2. TEMPO TOTAL	197			
	8.2.3. TEMPO NO VEÍCULO	200			
8.3.	EMBARQUES E CARREGAMENTOS	203			
	8.3.1. CURTO PRAZO	203			

	8.3.2. MÉDIO PRAZO	20
	8.3.3. LONGO PRAZO	21
8.4.	LINHAS DO SISTEMA SOBRE TRILHOS	229
9.	PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO	234
10.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	239
11.	ANEXOS	240
11.1	DADOS DE ENTRADA DA REDE DE SIMULAÇÃO	240

# LISTA DE SIGLAS

ANTP Associação Nacional de Transportes Públicos

ARMBH Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte

**BHTRANS** Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte

BRS Bus Rapid System

BRT Bus Rapid Transit

CBTU Companhia Brasileira de Trens Urbanos

CEP Código de Endereçamento Postal

CTMob Comitê Técnico de Mobilidade da RMBH

**EMOB** Escritório de Mobilidade - SEINFRA/ARMBH

FMD Floating Mobile Data

**GPS** Global Positioning System

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBIRITRANS Departamento Municipal de Trânsito e Transporte de Ibirité

IES Instituições de Ensino Superior

**INEP** Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais

LGPD Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais

**OD** Origem-Destino

PDDI Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da RMBH

PED Pontos de Embarque e Desembarque

PlanMob Plano de Mobilidade

**PNMU** Política Nacional de Mobilidade Urbana

RAIS Relação Anual de Informações Sociais

**RMBH** Região Metropolitana de Belo Horizonte

SBE Sistema de Bilhetagem Eletrônica

**SDK** Software Development Kit

SEINFRA-MG Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade de Minas Gerais

**TRANSBETIM** Empresa de Transporte e Trânsito de Betim

**TRANSCON** Autarquia Municipal de Trânsito e Transportes de Contagem

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Características dos dados de telefonia movel ou dados moveis flutuantes	24
Figura 2: Características dos dados de aplicativos celulares	25
Figura 3: Características dos dados de bilhetagem eletrônica	26
Figura 4: Zoneamento proposto para a RMBH (1002 zonas, 46 macrozonas)	29
Figura 5: Zoneamento proposto para a RMBH (1002 zonas, 46 macrozonas) - detalhe Belo Horizonto	e 29
Figura 6: Metodologia de geração da matriz OD a partir de dados do SBE e GPS	31
Figura 7: Exemplo de cruzamento de dados de utilização do bilhete eletrônico	33
Figura 8: Número de registros por sistema	34
Figura 9: Percentual de registros de cartão e dinheiro	35
Figura 10: Percentual de registros por faixa horária	35
Figura 11: Produção e atração de viagens em transporte coletivo na RMBH - Pico manhã 5hoo às 7 (SBE, 2019)	7h59 36
Figura 12: Principais linhas de desejo da matriz de bilhetagem eletrônica para um dia útil	37
Figura 13: Principais linhas de desejo da matriz OD VIVO, 2019	39
Figura 14: Percentual do número de pins por faixa horária	43
Figura 15: Seleção de pares OD após 01/07/2021	44
Figura 16: Engajamento dos usuários em 47 dias úteis	45
Figura 17: Demonstrativo de pins detectados de cada usuário por dia	45
Figura 18: Produção e atração de viagens em transporte coletivo na RMBH (SBE, 2019)	46
Figura 19: Principais linhas de desejo da matriz de bilhetagem eletrônica para um dia útil	47
Figura 20: Modos de transporte considerados para as bases de dados VIVO-SBE 2019	50
Figura 21: Volume de viagens por modo (VIVO-SBE, 2019)	51
Figura 22: Comparação divisão modal: OD RMBH (2012), ANTP (2018) e VIVO/SBE (2019)	52
Figura 23: Comparação índices de mobilidade por modo: OD RMBH (2012), ANTP (2018) e VIVO/ (2019)	SBE 53
Figura 24: Produção de viagens por macrozona: OD RMBH (2012) e VIVO (2019)	54
Figura 25: Volume de viagens e amostragem das matrizes mais recentes da RMBH	55
Figura 26: Percentual da demanda por faixa horária	56
Figura 27: Histograma de frequência de deslocamentos pela distância percorrida	56
Figura 28: Estrutura de um modelo quatro etapas	57
Figura 29: Taxas de projeção da população em Minas Gerais (IBGE) e Belo Horizonte	64
Figura 30: Projeção da variável "População"	65
Figura 31: Projeção da variável "Matrículas IES"	66
Figura 32: Projeção da variável "Empregos Formais"	67

Figura 33: Ajuste final do modelo de geração	68
Figura 34: Centroides e conectores do zoneamento da RMBH (1002 zonas)	73
Figura 35: Comparação dos embarques diretos e transferidos em terminais com os dados de ref (de 5hoo as 7h59)	erência 7 <sup>8</sup>
Figura 36: Comparação dos embarques diretos e transferidos em estações de metrô com os da referência (de 5hoo as 7h59)	idos de 8c
Figura 37: Metodologia para a definição das cestas de projetos - Classificação	83
Figura 38: Metodologia para a definição das cestas de projetos - Agrupamento	83
Figura 39: Cestas de projetos	82
Figura 40: Projetos não priorizados	86
Figura 41: Linhas de desejo RMBH - OD Bilhetagem Eletrônica 2019 (passageiros/dia)	88
Figura 42: Linhas de desejo das zonas no entorno do Rodoanel - OD Bilhetagem Eletrônic (passageiros/dia)	a 2019 89
Figura 43: Linhas de desejo das zonas no entorno do Rodoanel - OD Pessoas 2019 Te (passageiros/dia)	elefonia 89
Figura 44: Principais linhas de desejo da Regional Noroeste nas matrizes OD Pessoas (2019) e (2019)	DD SBE
Figura 45: Principais linhas de desejo da macrozona Betim Leste nas matrizes OD Pessoas (2019 SBE (2019)	9) e OD 92
Figura 46: Principais linhas de desejo da macrozona Betim Oeste nas matrizes OD Pessoas (2019 SBE (2019)	9) e OD 93
Figura 47: Principais linhas de desejo do município de Ibirité nas matrizes OD Pessoas (2019) e (2019)	DD SBE
Figura 48: Principais linhas de desejo da Regional Barreiro nas matrizes OD Pessoas (2019) e C (2019)	DD SBE
Figura 49: Principais linhas de desejo da macrozona Nova Lima Sede nas matrizes OD Pessoas ( OD SBE (2019)	2019) e 96
Figura 50: Principais linhas de desejo da macrozona São Benedito (Santa Luzia) nas matrizes OD F (2019) e OD SBE (2019)	Pessoas 97
Figura 51: Mapa de terminais propostos	99
Figura 52: Sistema tronco-alimentado das linhas metropolitanas	101
Figura 53: Sistema troncal proposto para 2027	103
Figura 54: Sistema tronco-alimentado para 2027	102
Figura 55: Sistema troncal proposto para 2032	106
Figura 56: Sistema tronco-alimentado para 2032	107
Figura 57: Sistema tronco-alimentado para 2042	108
Figura 58: Viagens originadas no Centro Histórico/Novo Centro (Santa Luzia) nas matrizes e C (2019) e OD Pessoas (2019)	D SBE
Figura 59: Viagens originadas na Vila Olga/Padre Miguel (Santa Luzia) nas matrizes e OD SBE (: OD Pessoas (2019)	2019) e 115

Figura 60: Viagens originadas no São Benedito (Santa Luzia) nas matrizes e OD SBE (2019) e OD Pes (2019)	ssoas 116
Figura 61: Viagens originadas ao norte de São Benedito (Santa Luzia) nas matrizes e OD SBE (2019) ( Pessoas (2019)	e OD
Figura 62: Viagens originadas na sede de Santa Luzia (exceto Centro Histórico e Novo Centro) matrizes e OD SBE (2019) e OD Pessoas (2019)	) nas
Figura 63: Viagens originadas na zona rural de Santa Luzia nas matrizes e OD SBE (2019) e OD Pes (2019)	550as
Figura 64: Rede Atual	121
Figura 65: Rede proposta	122
Figura 66: Linha proposta Terminal Santa Luzia/Convento	125
Figura 67: Linha proposta Frimisa/Barreiro do Amaral	126
Figura 68: Linha proposta Igreja Matriz/Terminal São Benedito	127
Figura 69: Linha proposta Igreja Matriz/Terminal São Benedito (via Terminal Santa Luzia)	128
Figura 70: Linha proposta Santa Luzia/Venda Nova	129
Figura 71: Linha proposta São Benedito/Morro Alto	130
Figura 72: Variação no número de origens, com foco em Santa Luzia	132
Figura 73: Diferença de carregamento do cenário C1sB em comparação ao cenário C1B, com foco Santa Luzia	o em
Figura 74: Diferença de carregamento do cenário C2usB em comparação ao cenário C2B, com foco Santa Luzia	o em
Figura 75: Diferença de carregamento do cenário C3usB em comparação ao cenário C3B, com foco Santa Luzia	o em
Figura 76: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C1sB, com foco em Santa Luzia	136
Figura 77: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C2usB, com foco em Santa Luzia	137
Figura 78: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C3usB, com foco em Santa Luzia	137
Figura 79: Variação da tarifa pelas origens em comparação ao cenário de referência CoA, com foco Santa Luzia	o em
Figura 8o: Variação do tempo médio de viagens pelas origens em comparação ao cenário de referé CoA, com foco em Santa Luzia	ência 140
Figura 81: Variação do tempo médio no veículo pelas origens em comparação ao cenário de referê CoA, com foco em Santa Luzia	ência 141
Figura 82: Velocidade média de ônibus em Santa Luzia (2019)	142
Figura 83: Velocidade média nos principais corredores de ônibus em Santa Luzia (2019)	142
Figura 84: Projeto executivo de faixas exclusivas na Avenida Brasília (2014)	144
Figura 85: Operação atual do sistema BRT MOVE na Avenida Brasília	145
Figura 86: Infraestrutura da Avenida Raul Teixeira	147
Figura 87: Infraestrutura das faixas exclusivas	148
Figura 88: Infraestrutura das baias	149

Figura 89: Infraestrutura do entorno	149
Figura 90: Infraestrutura dos PEDs	150
Figura 91: Projetos contemplados na rede de transporte estudada a curto prazo (2027)	154
Figura 92: Projetos contemplados na rede de transporte estudada a médio prazo (2032)	156
Figura 93: Projetos contemplados na rede de transporte estudada a longo prazo (2042)	159
Figura 94: Rede simulada nos cenários Coo e CoA	162
Figura 95: Rede tronco-alimentada simulada nos cenários C1A e C1B	163
Figura 96: Rede tronco-alimentada nos cenários C1sB	164
Figura 97: Rede tronco-alimentada nos cenários C2A e C2B	165
Figura 98: Arranjo das linhas de metrô propostas no C2t	166
Figura 99: Rede tronco-alimentada nos cenários C2tA e C2tB	166
Figura 100: Arranjo das linhas de metrô propostas no C2us	167
Figura 101: Rede tronco-alimentada nos cenários C2usB	168
Figura 102: Rede tronco-alimentada nos cenários C3A e C3B	169
Figura 103: Arranjo das linhas de metrô e trem propostas no C3t	170
Figura 104: Rede tronco-alimentada nos cenários C3tA e C3tB	171
Figura 105: Arranjo das linhas de metrô e trem propostas no C3usB	172
Figura 106: Rede tronco-alimentada no cenário C3usB	172
Figura 107: Totais migração de demanda cenários originais (C1A, C1B, C2A, C2B, C3A e C3B)	174
Figura 108: Totais migração de demanda configurações alternativas (C2tA, C2tB, C3tA, C3t C2usB, C3usB)	B, C1sB,
Figura 109: Variação no número de origens C1A	176
Figura 110: Variação no número de origens C1B	177
Figura 111: Variação no número de origens C1sB	178
Figura 112: Variação no número de origens C2A	179
Figura 113: Variação no número de origens C2B	180
Figura 114: Variação no número de origens C2tA	181
Figura 115: Variação no número de origens C2tB	182
Figura 116: Variação no número de origens C2usB	183
Figura 117: Variação no número de origens C3A	184
Figura 118: Variação no número de origens C3B	185
Figura 119: Variação no número de origens C3tA	186
Figura 120: Variação no número de origens C3tB	187
Figura 121: Variação no número de origens C3usB	188
Figura 122: Indicador tarifa cenários originais	189
Figura 123: Indicador tarifa configurações alternativas	190
Figura 124: Indicador transferências cenários originais	191

Figura 125: Indicador transferências configurações alternativas	191
Figura 126: Indicador tempo total cenários originais	192
Figura 127: Indicador tempo total configurações alternativas	192
Figura 128: Indicador tempo no veículo cenários originais	193
Figura 129: Indicador tempo no veículo configurações alternativas	193
Figura 130: Variação da tarifa pelas origens em comparação ao cenário de referência CoA - originais	cenários 195
Figura 131: Variação da tarifa pelas origens em comparação ao cenário de referência CoA - configalternativas	gurações 196
Figura 132: Variação do tempo médio de viagens pelas origens em comparação ao cenário de re CoA - cenários originais	eferência 198
Figura 133: Variação do tempo médio de viagens pelas origens em comparação ao cenário de re CoA - configurações alternativas	eferência 199
Figura 134: Variação do tempo médio no veículo pelas origens em comparação ao cenário de re CoA - cenários originais	eferência 201
Figura 135: Variação do tempo médio no veículo pelas origens em comparação ao cenário de re CoA - configurações alternativas	eferência 202
Figura 136: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C1B	204
Figura 137: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C1sB	205
Figura 138: Diferença de carregamento do cenário C1B em comparação ao cenário CoA	207
Figura 139: Diferença de carregamento do cenário C1sB em comparação ao cenário CoA	208
Figura 140: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C2B	211
Figura 141: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C2tB	212
Figura 142: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C2usB	212
Figura 143: Diferença de carregamento do cenário C2B em comparação ao cenário CoA	215
Figura 144: Diferença de carregamento do cenário C2tB em comparação ao cenário CoA	216
Figura 145: Diferença de carregamento do cenário C2usB em comparação ao cenário CoA	217
Figura 146: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C3B	221
Figura 147: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C3tB	222
Figura 148: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C3usB	222
Figura 149: Diferença de carregamento do cenário C3B em comparação ao cenário CoA	226
Figura 150: Diferença de carregamento do cenário C3tB em comparação ao cenário CoA	227
Figura 151: Diferença de carregamento do cenário C3usB em comparação ao cenário CoA	228
Figura 152 :Embarques no sistema sobre trilhos no período de pico (3h)	233
Figura 153: Projetos contemplados na rede de transporte proposta para o curto prazo (2027)	236
Figura 154: Projetos contemplados na rede de transporte proposta para o médio prazo (2032)	237
Figura 155: Projetos contemplados na rede de transporte proposta para o longo prazo (2042)	238

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização dos dados usados para estimar a matriz OD de cada sistema	31
Tabela 2: Requisitos dos campos do SBE	32
Tabela 3: Requisitos dos campos do GPS	32
Tabela 4: Principais pares OD da matriz de bilhetagem eletrônica no horário pico manhã	36
Tabela 5: Amostras dos dados de aplicativos (OD Pessoas, 2021)	42
Tabela 6: Média de IDs únicos segundo amostras dos dados de aplicativos (OD Pessoas, 2021)	42
Tabela 7: Macrozonas com maiores volumes de viagens produzidas	47
Tabela 8: Bancos de dados oficiais utilizados	60
Tabela 9: Resultados da regressão para a origem de viagens	62
Tabela 10: Resultados da regressão para a destino de viagens	63
Tabela 11: Comparação dos embarques diretos e transferidos em terminais com os dados de ref (de 5hoo as 7h59)	ferência 79
Tabela 12: Comparação dos embarques diretos e transferidos em estações de metrô com os d referência (de 5hoo as 7h59)	ados de 81
Tabela 13: Projetos não priorizados no âmbito do transporte coletivo	85
Tabela 14: Troncais propostas horizonte 2027	102
Tabela 15: Troncais propostas horizonte 2032	105
Tabela 16: Novas regras tarifárias do cenário C1A	110
Tabela 17: Novas regras tarifárias do cenário C2A	111
Tabela 18: Novas regras tarifárias do cenário C3A	111
Tabela 19: Novas regras gerais de integração	112
Tabela 20: Propostas de racionalização para a rede de Santa Luzia	123
Tabela 21: Embarques Santa Luzia - cenários de reestruturação	131
Tabela 22: Velocidade média dos corredores de transporte coletivo em Santa Luzia (2019)	143
Tabela 23: Projetos contemplados na rede de transporte estudada a curto prazo (2027)	153
Tabela 24: Projetos contemplados na rede de transporte a médio prazo (2032)	155
Tabela 25: Projetos contemplados na rede de transporte a curto prazo (2027)	158
Tabela 26: Cenários de simulação	161
Tabela 27: Totais migração de demanda cenários originais	173
Tabela 28: Totais migração de demanda configurações alternativas	173
Tabela 29: Embarques por sistemas - Curto prazo	203
Tabela 30: Carregamento crítico dos eixos de transporte no curto prazo (2027)	206
Tabela 31: Carregamento crítico dos trilhos (CBTU e Trem) no curto prazo (2027)	207
Tabela 32: Embarques por sistemas - Médio prazo	209

Tabela 33: Carregamento crítico dos eixos de transporte no médio prazo (2032)	213
Tabela 34: Carregamento crítico dos trilhos (CBTU e Trem) no médio prazo (2032)	214
Tabela 35: Embarques por sistemas - Longo prazo	219
Tabela 36: Carregamento crítico dos eixos de transporte no longo prazo (2042)	223
Tabela 37: Carregamento crítico dos trilhos (CBTU e Trem) no longo prazo (2042)	224
Tabela 38: Embarques no sistema sobre trilhos no período de pico (3h) - CBTU	231
Tabela 39: Embarques no sistema sobre trilhos no período de pico (3h) - Trem	232
Tabela 40: Projetos contemplados na rede de transporte proposta	235

# **APRESENTAÇÃO**

O Grupo CCR, em linha com seus objetivos estratégicos voltados a promover o desenvolvimento sustentável das áreas em que atua e contribuir com a estruturação de projetos de mobilidade que tragam benefícios a todos os segmentos da sociedade, doará à Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade (SEINFRA-MG ou SEINFRA) estudos de mobilidade urbana para a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). O objetivo é contribuir para a estruturação de projetos focados na sustentabilidade do sistema de transporte público coletivo de passageiros ("Projeto"), fornecendo subsídios técnicos para a elaboração do Plano de Mobilidade da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PlanMob RMBH) na dimensão do Transporte Coletivo.

Tal doação está amparada pelo Decreto Estadual nº 47.611/20191, que define:

- Um particular pode apresentar pedido para adoção deste mecanismo, sendo assegurado a terceiros o direito de apresentar comentários, impugnações ou suas próprias propostas;
- Possibilidade de convocar Chamamento Público para doação de bens e serviços à Administração Pública.

Com base nestes pressupostos, o Grupo CCR enviou à SEINFRA-MG, em 07 de outubro de 2020, uma proposta de doação de serviços de consultoria para estruturação dos estudos de mobilidade urbana da RMBH. O interesse do Grupo CCR neste projeto se deu em função de experiência na estruturação de projetos de mobilidade urbana, bem como de sua atuação local na operação do Aeroporto Internacional Tancredo Neves desde 2013.

Soma-se a estes motivos, inúmeras iniciativas pontuais realizadas nos últimos anos para sistemas estruturantes de transportes da região pela SEINFRA-MG, que necessitam ser revistas e articuladas no âmbito do PlanMob RMBH, em elaboração pelo Escritório da Mobilidade, uma iniciativa conjunta da SEINFRA com a ARMBH. Neste sentido, os estudos propostos vêm a somar às iniciativas já realizadas pelo Escritório da Mobilidade entre 2017 e 2018, as quais incluem: levantamento de dados de mobilidade; construção de bases de dados cartográficas digitais; pesquisas de tráfego; levantamento de legislação e normas vigentes; ações de comunicação e participação popular bem como a elaboração de matriz OD de cargas. Encontrase em desenvolvimento ainda, a aquisição de dados digitais para construção de matrizes OD de pessoas, dado o cenário de restrição para execução de pesquisas domiciliares amplas na RMBH.

Seguindo os procedimentos previstos no Decreto Estadual nº 47.611/2019, a SEINFRA deu publicidade à manifestação de interesse realizada pelo Grupo CCR no Diário Executivo do Estado de Minas Gerais em 28 de outubro de 2020. Nesta publicação foi dada possibilidade a demais interessados oferecer serviços similares ou apresentar eventual impugnação à proposta

17

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Regulamenta o recebimento de doação de bens móveis e serviços, sem ônus ou encargos, e o recebimento de bens em comodato pela Administração Pública direta, autárquica e fundacional do Poder Executivo e institui o Selo Amigo de Minas Gerais.

apresentada. Não havendo qualquer outra manifestação até o6 de novembro de 2020, data indicada do Diário Executivo, o Grupo CCR e a SEINFRA-MG procederam à assinatura do Termo de Doação, o qual foi publicado no Diário Executivo do Estado em 26 de novembro de 2020.

A proposta apresentada pelo Grupo CCR é composta por quatro grandes áreas de atuação em torno das quais serão estruturados os estudos e serviços de consultoria a serem doados, quais sejam: modelagem de transportes, urbanismo e meio ambiente, viabilidade econômico-financeira e jurídico-regulatória.

Para desenvolvimento dos trabalhos o Grupo CCR mobilizou consultorias altamente especializadas e com histórico relevante de trabalhos sobre os respectivos temas e na região:

- Systra Engenharia e Consultoria LTDA., com sedes em Belo Horizonte MG e São Paulo -SP, será responsável pela coordenação técnica e integração dos estudos, bem como pela modelagem de transportes em nível metropolitano;
- Práxis Projetos e Consultoria LTDA., com sede em Belo Horizonte MG, que será responsável pelos estudos urbanísticos e ambientais, contemplando, dentre outros: planos de expansão urbana e de Operações Urbanas Consorciadas, áreas no entorno da rede de transporte com potencial de exploração e tecnologias ambientalmente sustentáveis;
- Galípolo Consultoria LTDA., com sede em São Paulo SP, que será responsável pelos estudos econômico-financeiros, contemplando, dentre outros: estudos de viabilidade econômico-financeira, novos modelos de contratação e remuneração e auxílio no Marco Regulatório e estruturação de receitas;
- Azevedo Sette Advogados Associados, com sedes em Belo Horizonte MG e São Paulo -SP, que será responsável pelos estudos jurídico-regulatórios, contemplando, dentre outros: estrutura regulatória, legislativa e institucional da RMBH, diagnóstico jurídico das redes metropolitana e municipais e estruturação do novo ambiente regulatório da mobilidade urbana.

Todas as consultorias estarão empenhadas em conjunto no desenvolvimento de uma estratégia multicritério de avaliação de projetos, em *benchmarking* de novos modelos regulatórios, de remuneração, contratação e financiamento de projetos, visando a estruturação de propostas sustentáveis para a mobilidade da RMBH do ponto de vista técnico, ambiental, jurídico e econômico.

O Projeto contempla três Etapas, assim definidas:

- Etapa 1 Diagnóstico
  - → A ser desenvolvida entre os meses de dezembro de 2020 e março de 2021 (conforme acordado entre as Partes), cujos entregáveis previstos contemplam diagnóstico técnico, operacional e jurídico da RMBH no que tange ao objeto deste Projeto.

- Etapa 2 Priorização de projetos e diretrizes para novo modelo
  - → A ser desenvolvida entre os meses de março e junho de 2021, cujos entregáveis previstos contemplam uma relação de projetos prioritários para implantação, bem como toda avaliação de benchmarking realizada para os diferentes temas abordados nos estudos.
- Etapa 3 Mobilidade Sustentável na RMBH
  - → A ser desenvolvida entre os meses de dezembro de 2020 e novembro de 2021, cujos entregáveis previstos contemplam estudo de reorganização da rede de transporte metropolitana e análise de impactos, estudos de pré-viabilidade dos projetos selecionados e síntese de modelos de contratação, remuneração, gestão da arrecadação e financiamento.

Os trabalhos devem ser desenvolvidos ao longo de 2021, com entrega final prevista para dezembro de 2021. Os estudos desenvolvidos, bem como os produtos gerados serão disponibilizados ao EMOB para compor as análises técnicas relativas ao transporte coletivo na RMBH e servirão de subsídio para as ações de elaboração do PlanMob RMBH.

# 1. INTRODUÇÃO

Este relatório consiste no Produto 8 e integra a Etapa 3 dos estudos de mobilidade para a RMBH. Seu objetivo é apresentar os resultados da reorganização da rede de transportes, além de descrever as questões metodológicas pertinentes quanto ao levantamento de dados e construção do modelo de simulação. Este produto, assim como os demais produtos resultantes desse estudo, visa subsidiar o Plano de Mobilidade da Região Metropolitana de Belo Horizonte, atualmente em desenvolvimento por meio de uma parceria entre SEINFRA e Agência Metropolitana (ARMBH). Assim, é importante salientar a importância da participação da sociedade civil neste processo, conforme previsto pela Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), bem como a recomendação de que o conteúdo técnico apresentado neste documento, seja apresentado de forma a viabilizar a ampla compreensão da sociedade.

Este produto envolveu a seleção de projetos para integrar a rede futura e a identificação de projetos sinérgicos, agrupando-os em cestas (distribuição espacial) e atribuindo-os a cenários de implantação (distribuição temporal). A rede prioritária foi detalhada e foram construídas redes de transporte futuras nas quais foram alocadas as matrizes projetadas, resultando na simulação dos cenários. Além das configurações de oferta de cada horizonte, simulou-se também cenários alternativos, em que a integração tarifária foi ampliada para o sistema metropolitano com cada um dos sistemas municipais incluídos no modelo. Finalmente, os cenários foram avaliados considerando indicadores de qualidade e eficiência.

Ressalta-se que a definição da rede futura teve início ainda na Etapa 1 do estudo, quando foi realizado um abrangente levantamento dos projetos existentes na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Essa atividade teve continuidade na Etapa 2, por meio da Avaliação de Projetos. Todo esse processo envolveu a participação dos municípios, por meio de reuniões específicas, organizadas durante o mês de março de 2021, e reuniões setoriais organizadas por vetores da RMBH (Norte, Sul, Leste e Oeste), que, sob a supervisão da SEINFRA e da Agência RMBH, contaram com representantes das administrações públicas municipais, durante o mês de maio de 2021. Além disso, os consultores, os municípios, a SEINFRA e a ARMBH participaram da análise atribuindo pesos aos critérios considerados na análise multicritério. Nesse contexto, a Etapa 3 consolida as atividades desenvolvidas ao reorganizar as redes de transporte público coletivo, definir os projetos a integrar a rede futura e seus respectivos horizontes de implantação, simular os projetos nos cenários de curto, médio e longo prazo e, finalmente, analisar os resultados obtidos por meio da simulação.

Este documento está estruturado em sete capítulos, assim organizados:

- A primeira parte, esta Introdução, apresenta o produto e os diferentes processos que compreenderam a Etapa 3 do estudo.
- A segunda parte, intitulada Levantamento de dados, refere-se à apresentação da metodologia para geração das três matrizes OD desenvolvidas no âmbito do PlanMob RMBH, os resultados obtidos, além de considerações de como estas diferentes bases de dados podem ser usadas para o planejamento de transportes da RMBH.

- A terceira parte apresenta o modelo de demanda de transporte utilizado no estudo, descrevendo a adaptação do processo sequencial convencional dos modelos para estimação da demanda, o qual se organiza em quatro etapas (geração, distribuição, migração e alocação).
- A quarta parte, intitulada Modelo de simulação, caracteriza a rede de simulação e descreve o modelo de alocação e sua calibração;
- A quinta parte apresenta as Redes futuras, descreve o processo de seleção dos projetos e de organização destes nos horizontes de curto, médio e longo prazo, bem como o processo de reorganização das redes de transporte coletivo, que teve como principais diretrizes a hierarquização dos sistemas, o aumento de produtividade do sistema e a racionalização da rede.
- A sexta parte descreve os cenários de simulação de 2027, 2032 e 2042 com e sem integração tarifária entre sistemas metropolitano e municipais.
- Por fim, a sétima parte apresenta os resultados obtidos, demonstrando os efeitos da migração em cada cenário simulado e os indicadores avaliados.

Adicionalmente, este documento apresenta Anexos, contendo detalhes sobre os dados de entrada da rede de simulação.

# 2. LEVANTAMENTO DE DADOS

A modelagem de rede busca representar, por meio de simulações, o fluxo de pessoas e veículos entre uma origem e o seu destino, distribuídos nos diversos modos de transporte e, no caso da grande maioria das áreas urbanas, em rodovias e ferrovias. A precisão dos resultados será tão real quanto mais consistentes forem os dados que alimentam o modelo. O maior desafio desta jornada está em obter dados atualizados e com o mínimo de imprecisões, o que nos remete aos métodos de sua obtenção.

O surgimento e a disseminação de ferramentas que permitem trabalhar grandes volumes de dados (big data) ampliaram a perspectiva dos métodos de obtenção de dados para o planejamento das redes de mobilidade das cidades, como a construção de matrizes de origem/destino (OD) de viagens com base em dados coletados em intervalos de tempo muito menores do que os obtidos com os métodos de pesquisa de campo tradicionais.

Neste contexto, estão cada vez mais presentes os métodos dinâmicos de obtenção regular, fidedigna e atuais dos dados que possibilitam sua utilização para a entrada dos modelos de transporte e montar as redes de simulação, com todos os seus elementos, com a vantagem de permitir também sua atualização em periodicidade compatível com as transformações urbanas.

A evolução destes métodos traz à tona questões que precisam ser consideradas e, até mesmo, solucionadas. As vantagens do uso da coleta e do tratamento dinâmico dos dados são inúmeras se comparadas às metodologias tradicionais usadas para identificar e medir os fluxos e volumes de passageiros e de veículos. As pesquisas tradicionais são custosas, requerem uma logística complexa que demanda altos tempos de preparação, execução e tratamento. Em algumas situações há a necessidade de apoio das forças de segurança, especialmente, na aplicação em localidades mais vulneráveis ou em locais ermos.

## 2.1. CARACTERÍSTICAS DAS FONTES DE DADOS

Com a evolução tecnológica e a maior disponibilidade de dados eletrônicos, como os de bilhetagem eletrônica, de aplicativos e de telefonia móvel, metodologias alternativas para análise do fluxo de passageiros vêm ganhando força frente às técnicas de pesquisa tradicional, com levantamentos em base domiciliar ou até mesmo por telefone. Comparado com pesquisas tradicionais, é possível destacar as seguintes vantagens no uso de dados móveis e de bilhetagem eletrônica:

• Maior volume de dados consistentes: com grandes volumes de dados é possível obter uma amostragem com percentuais de erro mínimos, muito superior ao número de entrevistas feitas tradicionalmente, uma vez que os dados de telefonia ou de bilhetagem são mais facilmente coletados junto aos órgãos que detêm controle sobre eles. Se, por um lado, as pesquisas domiciliares oferecem endereços precisos dos locais de origem e de destino das viagens, a exatidão dos pares OD fica a desejar, uma vez que o entrevistado, em geral o chefe ou responsável da família, é quem responde por todos os moradores do

domicílio. Assim, não há como garantir a veracidade da informação, sem que cada residente seja diretamente entrevistado, o que tornaria a pesquisa ainda mais cara e demorada. Acresce-se a isto, o fato de que nas pesquisas de base domiciliar a amostragem não chega a representar 5 % da população residente o que limita o seu uso a planos de caráter mais amplo, não podendo ser utilizadas em projetos com o foco em áreas menores e mais detalhados.

- Coleta passiva: não é necessário fazer entrevistas espaçadas em vários dias ou confiar na real resposta de cada um dos entrevistados, além de eliminar a possibilidade de erro na transcrição dos dados.
- Atualidade e precisão: os dados móveis/bilhetagem podem ser coletados com uma referência sempre atualizada em relação à data de estudo desejada, sendo inclusive possível a análise de dias atípicos, específicos, além da comparação de padrões entre períodos em que ocorrem modificações significativa dos fluxos de viagens, por exemplo, como aconteceu com a mudança de órgãos do Governo de Minas para a Cidade Administrativa e, também, com a pandemia de Covid-19.
- Novas perspectivas de estudo: permite, com maior exatidão, a análise de viagens recorrentes ou ocasionais, característica de obtenção pouco precisa pelos modelos tradicionais.
- Menores custos e menor tempo: toda a mobilização de pesquisadores e o esforço de validação, consistência e tabulação de dados para uma amostra, em geral menor que 5 % do universo de pessoas/viagens, não são necessários, o que colabora para a redução do custo total das pesquisas, atrelado ainda a uma amostragem superior, reduzindo a parcela de erro estatístico. Ademais, o tempo de execução é menor que o tradicional, além da possibilidade de atualizações frequentes, após a consolidação da metodologia. A aplicação regular das pesquisas convencionais é inviável, gerando intervalos de resultados incompatíveis com a evolução dos hábitos e outras circunstâncias, o que muitas vezes impõe que sejam trabalhados modelos de simulação com bases de dados defasadas e exige que se façam, pelo menos, pesquisas complementares, como contagens localizadas para ajustes na matriz.

Por outro lado, as fontes de dados com base em dados móveis ou nos sistemas de bilhetagem eletrônica têm limitações que devem ser consideradas nas análises de seus resultados e na montagem dos modelos.

A seguir são apresentados gráficos visando avaliar as características destes diferentes tipos de dados. As características analisadas são:

- O volume de dados que podem ser coletados
- A precisão espacial no momento da medição
- A representatividade da amostra não tratada em relação à população em questão
- O potencial para a distinção modal
- O potencial de **reconstituição das matrizes OD** (usando os tratamentos apropriados)

- 1. Os dados de telefonia móvel ou dados móveis flutuantes (Figura 1) (em inglês Floting Mobility Data ou FMD) são baseados na rede celular. Não são necessários dispositivos ou hardware especiais: cada telefone celular ligado se torna uma "sonda de tráfego". Como a localização é menos precisa do que quando um GPS é usado, muitos dispositivos devem ser rastreados, e algoritmos complexos são usados para extrair dados de alta qualidade. Em áreas urbanas, a menor distância entre as antenas receptoras das operadoras telefônicas aumenta a precisão dos dados coletados. Os dados móveis flutuantes parecem, portanto, ser uma fonte de dados adequada para o estudo de todos os modos de viagem, desde que a rede celular esteja acessível para que o sistema de localização de dados funcione. Tais dados possuem forte dependência das características de registro, coleta e estrutura de dados, como:
  - a. raio de ação das antenas, sempre maiores que a unidade de divisão geográfica do território - os setores censitários; em muitos casos, também maiores que o zoneamento da modelagem de demanda; e em menor escala, nas áreas mais periféricas, agregam áreas extensas, o que resulta em imprecisão na identificação dos locais de origem e de destino das viagens;
  - b. abrangência das classes sociais dos assinantes, pois há operadores que oferecem serviços que atraem um determinado segmento de renda, oferecendo pacotes mais adequados a um perfil de renda, o que gera lacunas em determinadas faixas de classe social; e
  - c. estimativa da divisão modal, incluindo análises probabilísticas a partir de combinações de dados oriundos de fontes diversas, como, por exemplo, de sistemas de bilhetagem eletrônica do transporte público e contagens volumétricas.

Representatividade

1. Dados móveis flutuantes (FMD)

Volume

Geração de matrizes OD

Precisão

Figura 1: Características dos dados de telefonia móvel ou dados móveis flutuantes

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Distinção modal

2. Os dados de aplicativos celulares (Figura 2) são coletados por meio aplicações móveis (em inglês SDK ou Software Development Kit) que acessam a localização dos dispositivos. Quando as aplicações são instaladas e utilizadas, o SDK incorporado transmite os dados de localização GPS ao editor, que é então transferido para o leitor baseado em localização que forneceu o SDK. Uma vez integrado e após o acordo do usuário, esta sonda recupera uma média de 300 geolocalizações por dia com carimbo de tempo por smartphone. Isto permite inferir o modo de transporte para a viagem, considerando a velocidade observada, bem como estimar o tráfego, caso uma contagem seja feita simultaneamente. A frequência média de coleta é de 5 minutos, mas dependendo da qualidade e tipologia das redes de comunicação na região (3G/4G, Wifi) esta média pode variar de 1 a 40 minutos. A precisão obtida por um smartphone em condições ideais (ao ar livre, sem edifícios altos) é de 10m, mas na realidade, mais de 50 % das geolocalizações coletadas pelo SDK têm uma incerteza maior que 50 m. Além disso, as redes subterrâneas são frequentemente uma fonte de erros, uma vez que pode ser muito difícil distinguir se uma pessoa está na via ou em uma estação de metrô subterrânea, por exemplo.

Embora a precisão da geolocalização do usuário seja mais compatível com o zoneamento utilizado em modelagem de demanda de transporte em comparação com os dados da telefonia móvel, é importante obter um conjunto expressivo de aplicativos de uso constante e para perfis de usuários representativos de todas as classes sociais.

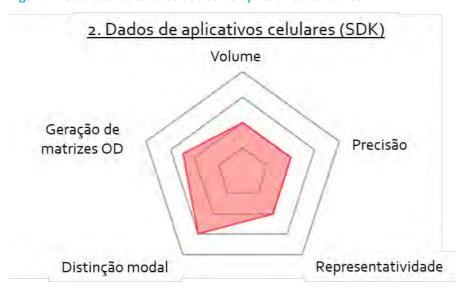


Figura 2: Características dos dados de aplicativos celulares

Fonte: Elaboração própria, 2021.

3. Os dados de bilhetagem eletrônica (Figura 3) fornecem informações como identificador anônimo, tipo de assinatura (cartão pessoal ou vale transporte, por exemplo), estação de partida, linha e sentido, bem como a hora e a data de validação. Esta fonte de informação tem vantagens, tais como um número preciso e contínuo de registros. Dentre as limitações, pode-se citar o fato de que a validação geralmente é feita apenas na entrada da rede e que este tipo de dado não fornece nenhuma informação socioeconômica ou o motivo da viagem. Ademais, os usuários com cartões de bilhetagem eletrônica não representam a população inteira, uma vez algumas pessoas ainda optam por efetuar o pagamento em dinheiro. No entanto, esta dificuldade é minimizada com a expansão dos dados considerando os volumes totais de passageiros transportados.

3. Dados de bilhetagem eletrônica

Volume

Geração de matrizes OD

Distinção modal

Representatividade

Figura 3: Características dos dados de bilhetagem eletrônica

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Conforme demonstrado pelas figuras, as três fontes de dados analisadas - telefonia móvel, aplicativos celulares e bilhetagem eletrônica - permitem a geração de matrizes OD. Contudo, apenas os dados de bilhetagem eletrônica permitem a obtenção da distinção modal de maneira direta e, além disso, fornecem maior precisão espacial no momento da medição e maior representatividade da amostra não tratada em relação à população em questão. Nesse sentido, ressalta-se que quase 100 % da demanda é registrada nos validadores dos sistemas de bilhetagem eletrônica da RMBH e mais de 60 % dos registros são feitos por cartões inteligentes. Não há pesquisas tradicionais e nem, tampouco, pesquisas com dados de telefonia móvel, comparáveis a tal nível de previsão e de confiabilidade, para o fim a que ela se destina.

Assim, em estudos setoriais cujo foco é o transporte público coletivo, o melhor referencial são as pesquisas com base em dados de seus sistemas de bilhetagem eletrônica. Trata-se de uma tecnologia bastante difundida, a qual é objeto de pesquisas acadêmicas, com registros de trabalhos científicos desde 2011.

No projeto em questão, embora o foco seja o subsídio ao plano setorial de mobilidade, focado no transporte público coletivo, a opção de se desenvolver uma metodologia a partir de dados de telefonia celular e aplicativos surge com o objetivo de aprimorar as análises de migração modal e contar com uma fonte de dados adicional que permita identificar tendências de demanda e lacunas de oferta para que se possa compreender melhor os hábitos de deslocamento da população em municípios em que a participação do transporte coletivo é baixa. O uso de novas tecnologias para gerar informações que sejam úteis ao planejamento de transporte se torna cada vez mais frequente, contudo, não é uma tarefa trivial, uma vez que diferentes metodologias trazem diferentes resultados e cabe ao analista conseguir representálos da forma mais fiel à realidade.

Por fim, vale lembrar que outras intercorrências de ordem mundial podem acontecer com mais frequência e, com elas, novas transformações na economia e nas rotinas da vida das pessoas. É fundamental que novas tecnologias para geração de matrizes OD sejam desenvolvidas, considerando ferramentas dinâmicas de levantamento automatizado de dados e, também, de simulação e análise dos fluxos de pessoas e de veículos, que acompanhem as mudanças na mesma velocidade que a sociedade se transforma.

## 2.2. ZONEAMENTO DA RMBH

O zoneamento consiste na segmentação territorial em unidades básicas de análise dos fluxos de deslocamento da demanda. No contexto de modelos de transporte, o número de zonas deve ser escolhido de maneira a garantir um balanço entre uma representação precisa da demanda de transporte e a capacidade computacional de processamento de dados.

O zoneamento utilizado pelo modelo de transporte público desenvolvido para a RMBH é composto por 1.002 zonas, correspondentes a agregações de setores censitários do censo demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Esse zoneamento foi estabelecido com base nos seguintes critérios:

 As zonas respeitam os limites municipais e os setores censitários, visto que os dados de população e emprego por zona se baseiam dados do IBGE projetados para o ano de 2019, que são desagregados de acordo com esses limites (municípios, distritos, zonas de setor censitário);

- Acidentes geográficos e outros fatores naturais, como rios e montanhas, devem limitar as fronteiras das zonas, uma vez que influenciam diretamente nos deslocamentos, evitandose, então, unir em uma única zona deslocamentos que tomam sentidos contrários;
- Apenas uma estação de metrô por zona, de modo a garantir a boa representação da demanda (embarque e desembarque) de cada estação;
- O zoneamento deve se apresentar mais desagregado em áreas que contenham grandes polos geradores de viagens, como universidades federais e hospitais de grande porte; e
- Atendimento de pelo menos uma linha de ônibus, com ponto de embarque e desembarque dentro da zona, nos dois sentidos de percurso.

Um macrozoneamento complementar é também proposto com o objetivo de estabelecer estudos comparativos entre as bases de dados utilizadas como referência no presente estudo (Bilhetagem Eletrônica, OD Telefonia, OD Aplicativos). Essas bases de dados utilizam metodologias distintas e podem se basear em zoneamentos diferentes, tais como:

- Zoneamento do Sistema de Bilhetagem Eletrônica (2019): 1.002 zonas censitárias, usadas também no modelo de transporte público desenvolvido no contexto do presente estudo; e,
- Zoneamento da matriz de telefonia (2019 e 2021): 393 zonas, estabelecidas com base na disponibilidade de antenas.

O macrozoneamento é composto por 46 macrozonas, obtidas da agregação das 1.002 zonas de transporte. Esse zoneamento foi aplicado também às zonas de telefonia, por meio da agregação das 393 zonas, com o intuito de compatibilizar, na medida do possível, os zoneamentos das matrizes de SBE e VIVO.

A Figura 4, a seguir, apresenta o macrozoneamento e o zoneamento adotados.

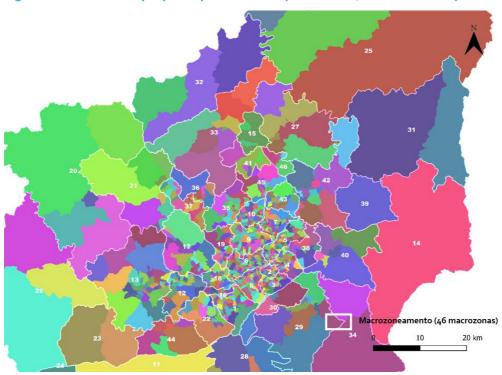


Figura 4: Zoneamento proposto para a RMBH (1002 zonas, 46 macrozonas)

Fonte: Elaboração própria, 2021.



Figura 5: Zoneamento proposto para a RMBH (1002 zonas, 46 macrozonas) - detalhe Belo Horizonte

Fonte: Elaboração própria, 2021.

## 2.3. MATRIZ OD DE BILHETAGEM ELETRÔNICA 2019

Este capítulo descreve o processo da geração de matriz de origem e destino dos usuários de transporte coletivo a partir dos dados de registro de validação dos cartões eletrônicos nos ônibus, nas estações de BRT e metrô da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

#### 2.3.1. VANTAGENS

A utilização dessa metodologia nos estudos de demanda apresenta as seguintes vantagens em relação ao uso da matriz OD tradicional proveniente da Pesquisa OD Domiciliar:

- Amostra de dados superior (maior precisão): amostra em dias diversos e volume de dados superior às das pesquisas tradicionais de origem-destino;
- **Atualidade**: os dados de SBE são mais recentes e podem ser obtidos periodicamente, representando melhor os padrões de deslocamentos atuais;
- Qualidade de registro: maior qualidade dos registros, sem o viés das respostas dos entrevistados; e
- Qualidade da calibração: melhoria do processo e precisão da calibração, já que a matriz
   OD a ser alocada é montada a partir da mesma fonte (dados SBE) que gera os dados de referência de demanda com os quais o resultado da alocação será comparado.

#### 2.3.2. METODOLOGIA

A matriz origem-destino (Matriz OD) de transporte coletivo representa os fluxos de pessoas entre as diferentes zonas da área de estudo, que são alocados nos diferentes serviços de transporte integrantes da rede de simulação, na etapa de alocação de viagens.

A Matriz OD de transporte coletivo, objeto de alocação e calibração da rede, foi produzida a partir do cruzamento de dados de validação dos créditos eletrônicos dos SBE. Para o modo ônibus, tais dados foram ainda associados aos registros do Sistema de Rastreamento por GPS (quando disponíveis), de modo a relacionar a posição geográfica aos horários de acesso dos usuários às linhas de transporte coletivo.

No escopo do projeto, foram solicitados, por meio do intermédio da SEINFRA, dados dos sistemas de bilhetagem eletrônica (SBE) em funcionamento na RMBH (metropolitano e municipais), relativos aos registros de viagens e à validação dos cartões, bem como dos sistemas de rastreamento (GPS) dos veículos relativos aos mesmos sistemas de transporte e períodos correspondentes aos do SBE. Para este tipo de levantamento, foi definido, como referência de data, o mês de novembro de 2019, e, portanto, antes da pandemia, de forma a caracterizar os deslocamentos em condições normais de mobilidade e atividades urbanas.

A Tabela 1 sintetiza os dados recebidos e utilizados para a geração da OD de um dia típico. Foram solicitadas informações para a totalidade dos municípios da RMBH, no entanto, por questões técnicas e institucionais, estes não foram encaminhados em sua totalidade.

Tabela 1: Caracterização dos dados usados para estimar a matriz OD de cada sistema

Município/Sistema	SBE	GPS	ORIGEM
Belo Horizonte	19/11/2019	19/11/2019	BHTRANS
Metropolitano	19/11/2019	19/11/2019	SEINFRA
Betim	19/11/2019	19/11/2019	Prefeitura de Betim
Ibirité	19/11/2019	19/11/2019	Prefeitura Ibirité
Santa Luzia	19/11/2019	19/11/2019	Prefeitura Sta. Luzia
Contagem	19/11/2019	19/11/2019	Prefeitura Contagem

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Os dados de pagamento em dinheiro podem ou não ser registrados pelo sistema de bilhetagem eletrônica a partir do giro da catraca. Contudo, este nem sempre está disponível nos relatórios. Assim, para alguns casos, esse dado foi expandido segundo informações disponíveis.

O processo de geração da matriz pode ser sintetizado pela Figura 6. Como principal dado de entrada, temos os relatórios de bilhetagem eletrônica (SBE) e o georreferenciamento dos veículos (GPS). Também é necessário o mapeamento das estações de metrô/BRT e do georreferenciamento de todas as rotas que compõem o sistema, para que todas as informações sejam validadas.

Figura 6: Metodologia de geração da matriz OD a partir de dados do SBE e GPS



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Como mencionado, a elaboração da matriz OD se deu por meio da identificação dos usos e do rastreamento, ao longo de um dia útil, dos passageiros portadores de bilhetes eletrônicos pessoais e de uso múltiplo. A localização dos diferentes usos desses bilhetes por cada passageiro foi possível por meio do cruzamento dos registros de bilhetagem com os registros de GPS dos ônibus ao longo do mesmo dia ou da relação entre a hora de passagem do cartão e

abertura/fechamento das viagens (quando o georreferenciamento não é possível). Após a identificação dos embarques e desembarques, ocorre a consolidação, em um nível de agregação pré-determinado, do zoneamento do projeto.

As seguintes informações foram usadas nos dois bancos de dados principais:

Tabela 2: Requisitos dos campos do SBE

Descrição do Campo	Código
Identificação da linha ou estação em que se deu o uso do cartão	ID_LINHA
Sentido da viagem	SENTIDO
ID da viagem (caso linha)	ID_VIAGEM
ID do veículo (caso linha)	ID_VEICULO
Data e hora inicial e final da viagem (caso linha) registrado pelo operador	H_INI e H_FIM
ID único do cartão (código único para o caso de pagamento em dinheiro)	ID_USUARIO
Data e hora do uso	H_USO
Identificação da origem do dado (sistema de transporte)	FONTE

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Tabela 3: Requisitos dos campos do GPS

Descrição do Campo	Código
ID do veículo	ID_VEICULO
Latitude	LAT
Longitude	LON
Data e hora do evento	H_EVENTO

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Para a obtenção da matriz, aplicou-se uma metodologia de rastreamento reverso do uso do cartão atrelado à característica de sua utilização e ao horário. Dessa maneira, assumiu-se que o primeiro uso do cartão no dia corresponde à origem da viagem; enquanto o registro final corresponde ao destino. Cruzando essas informações tem-se o par OD daquele passageiro. A Figura 7 apresenta um exemplo de como é realizado esse cruzamento de informações.

Todo o tratamento de dados é feito utilizando a linguagem de programação Python, que permite a análise de tabelas com muitos registros e apresenta suporte para tratamentos georreferenciados.

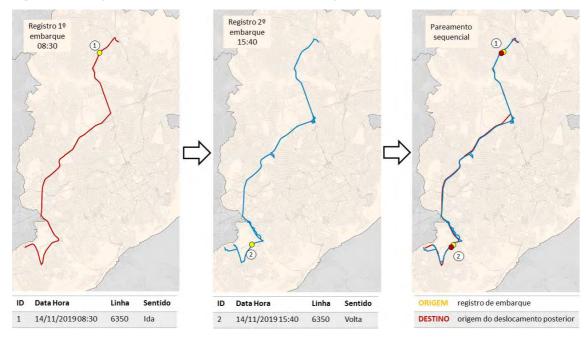


Figura 7: Exemplo de cruzamento de dados de utilização do bilhete eletrônico

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Para tratar os casos em que o passageiro usa mais de uma linha para chegar ao destino, utilizouse a informação da integração tarifária. Ademais, houve um tratamento para identificar múltiplos usos do cartão em um curto intervalo de tempo, para os casos de pessoas que viajam juntas usando o mesmo cartão, ou que fazem escalas ao longo do trajeto. Esse processo resultou na geração da matriz semente, que contém todos os registros de bilhetagem de usuários para os quais foi possível determinar tanto a zona de embarque quanto de desembarque.

Em seguida, iniciou-se o processo de crescimento da matriz, que visa determinar os totais reais de origens e destinos por zona. O fator de expansão aplicado a cada par OD é determinado a partir da seguinte fórmula:

$$f = \frac{\sum_{d} T}{\sum_{d} S}$$

Sendo:

f = fator de expansão

d = dimensões de expansão

T = total de usuários

S = matriz semente

A utilização da bilhetagem eletrônica como base do estudo permitiu que a expansão fosse agregada em várias dimensões, o que reduz o erro intrínseco a qualquer metodologia de crescimento de matriz. As dimensões escolhidas para a realização da primeira expansão nesse estudo foram:

- A linha de embarque do usuário;
- O sentido da viagem; e,
- O período em que se realizou a viagem (as faixas horárias foram divididas em 5 períodos, são eles: período 1, entre oh-4h, período 2, entre 5h-8h, período 3, entre 9h-14h, período 4, entre 15h-19h e período 5, entre 2oh-23h).

Após a primeira expansão, normalmente não se alcança a totalidade de deslocamentos identificados no sistema de bilhetagem. Isso ocorre devido à existência de casos particulares de indivíduos para os quais não é possível determinar o destino sem que haja nenhum outro indivíduo cujo par OD foi identificado e enquadrado nas três dimensões de expansão escolhidas. Assim, realizou-se uma segunda expansão com o intuito de alcançar o máximo de passageiros utilizando-se apenas uma dimensão: a zona de origem do passageiro.

#### 2.3.3. ANÁLISE DOS DADOS

Os diversos dados de sistemas de bilhetagem eletrônica recebidos para atualização da matriz de demanda no âmbito deste projeto foram consolidados em um único arquivo. Alguns gráficos são apresentados a seguir com a caracterização dos dados recebidos por sistema. A Figura 8 apresenta o número de registros de cada um dos sistemas recebidos.

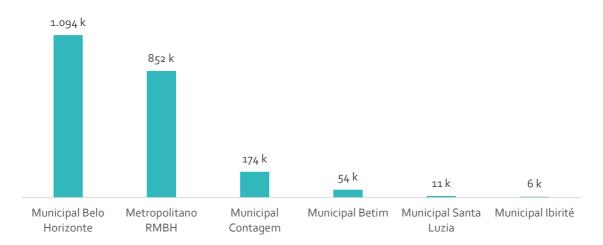


Figura 8: Número de registros por sistema

Fonte: Elaboração própria, 2021.

A Figura 9 segmenta os usos entre cartão rastreável e usos não rastreáveis. A categoria não rastreável envolve pagamentos em dinheiro ou uso de cartões unitários em estações de terminais. O gráfico também evidencia a falta de pagantes em dinheiro nos dados recebidos de Betim e o baixo número de pagantes em dinheiro no sistema municipal de Belo Horizonte. Esses ajustes são feitos ao longo da metodologia de geração da matriz utilizando o registro sintético das viagens em que é registrado o total de pagantes em dinheiro em cada viagem de linha de ônibus. Assim, a expansão é detalhada para cada viagem, e, quando não é possível fazê-la, pelo total de passageiros médio do sistema.

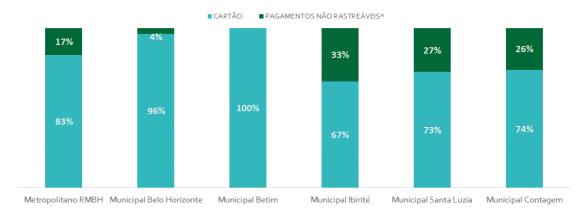


Figura 9: Percentual de registros de cartão e dinheiro

Fonte: Elaboração própria, 2021.

A distribuição horária dos registros pode ser observada na Figura 10. Aponta-se para o pico do almoço, mais distinguível nos sistemas municipais das cidades do entorno da capital mineira, como Betim, Ibirité e Santa Luzia. O horário de pico da manhã, identificado entre 5h e 8h, concentra 27 % das viagens do dia. O pico da noite é um pouco menos pronunciado, visto que nem todos os deslocamentos se realizam pelo motivo de retorno para casa em uma mesma faixa horária.

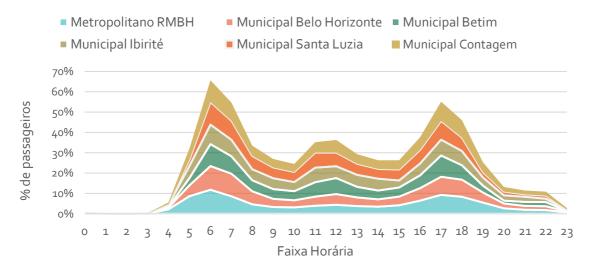


Figura 10: Percentual de registros por faixa horária

Fonte: Elaboração própria, 2021.

## 2.3.4. RESULTADOS

O número total de descolamentos contabilizados na matriz OD expandida é de 2,047 milhões de viagens em um dia útil. A Figura 11 apresenta um mapa de atração e produção de viagens de

<sup>\*</sup>Pagamentos em dinheiro, unitários BRT, giros registrados de roleta (botoeira)

transporte público para um dia útil. O município de Belo Horizonte concentra aproximadamente 67 % dos deslocamentos em transporte coletivo da RMBH, seguido por Contagem, com 12 %, e Betim, 6 %. Apenas 15 % do número total de viagens são produzidos pelos demais municípios da RMBH. Essa tendência é também observada para as viagens atraídas pelos municípios.

Produção

Atração

Visitation

Santa Liefa

Pessoas/km²

Contagêm

Nova Liefa

Pessoas/km²

Atração

Pessoas/km²

Tagém

Toma Liefa

Toma

Figura 11: Produção e atração de viagens em transporte coletivo na RMBH - Pico manhã 5h00 às 7h59 (SBE, 2019)

Fonte: Elaboração própria, 2021.

A Figura 12 apresenta as linhas de desejo mais relevantes identificadas na matriz de bilhetagem eletrônica de 2019 para 46 macrozonas da RMBH. A demanda principal se caracteriza por deslocamentos radiais em direção às diferentes regiões de Belo Horizonte, em especial, em direção à zona central de Belo Horizonte. A Tabela 4 apresenta o volume de viagens dos 9 principais pares OD da matriz SBE durante o horário pico manhã (5h - 8h). Os deslocamentos internos a Betim e Contagem também estão entre os principais volumes de viagens produzidos pela manhã.

Tabela 4: Principais pares OD da matriz de bilhetagem eletrônica no horário pico manhã

MACROZONA DE ORIGEM	MACROZONA DE DESTINO	FATOR VIAGENS
BH_NORTE	BH_CENTRO BH	17.673
BH_NOROESTE	BH_CENTRO BH	14.685
BT_OESTE	BT_OESTE	14.568
BH_NORDESTE	BH_CENTRO BH	13.206
BH_VENDA_NOVA	BH_CENTRO BH	12.834
BH_PAMPULHA	BH_CENTRO BH	11.592
BH_LESTE	BH_CENTRO BH	11.233
BH_OESTE	BH_CENTRO BH	11.178

Fonte: Elaboração própria, 2021.

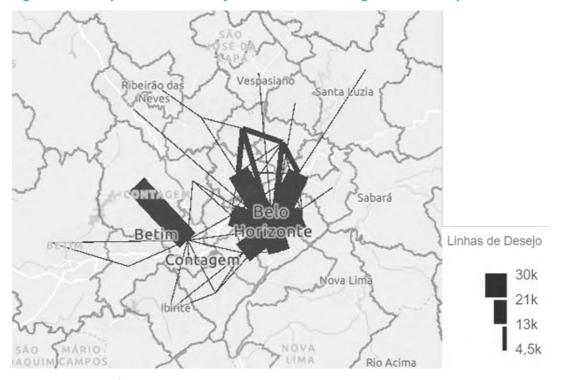


Figura 12: Principais linhas de desejo da matriz de bilhetagem eletrônica para um dia útil

### 2.4. MATRIZ OD PESSOAS 2019 E 2021 - TELEFONIA

A Matriz OD de telefonia foi desenvolvida por meio de uma parceria entre SEINFRA, ARMBH e VIVO que permitiu estabelecer matrizes OD para a RMBH para 2019 e 2021, segmentadas em 393 zonas de telefonia. Esse estudo foi realizado a partir da coleta de dados de deslocamento e fluxo populacional de usuários da rede de telefonia VIVO, como alternativa à uma pesquisa OD tradicional. O Relatório de Metodologia e Resultados OD RMBH 2019 - 2021 apresenta a metodologia aplicada para o tratamento e expansão dos fatores de viagens dos dados de telefonia, os resultados e as informações técnicas. Os períodos de coleta do estudo (20 dias) são referentes aos meses de novembro de 2019 e maio de 2021.

Por se tratar de uma tecnologia responsável pela captação e triangulação de dados vindo de cada usuário de telefonia celular, fatores como a relação do modo de transporte de cada usuário não estavam presentes, sendo uma desvantagem, mas suprida pela exatidão obtida dos comportamentos de deslocamento, uma vez que o aparelho celular é uma ferramenta presente na vida de quase todo cidadão.

### 2.4.1. METODOLOGIA

A coleta de dados de telefonia tem por objetivo identificar as viagens realizadas por um usuário, isto é, os deslocamentos com uma origem e destino final, assim como eventuais transbordos ou pontos intermediários. No caso do tratamento de dados de telefonia, o tempo de

permanência de um usuário em uma determinada localização é a referência utilizada para a determinação desses eventos.

Após o tratamento desses eventos para cada usuário, foi possível estabelecer uma primeira matriz OD da amostra. O estudo da representatividade estatística dos dados de telefonia coletados permitiu concluir que 99,3 % da população amostrada atende aos requisitos de 95 % de nível de confiança e 5 % de margem de erro.

Para determinação do volume "real" de deslocamentos da população da RMBH, é necessário realizar um processo de expansão da matriz OD obtida para população da amostra. Para isso, foram utilizados os dados de população do censo de 2010, projetados linearmente para os anos de 2019 e 2021 (anos da pesquisa). Sabendo que o zoneamento de telefonia difere dos setores censitários, a população atribuída à cada zona de telefonia é a soma da população dos setores censitários cujos centroides estejam contidos em cada zona.

A metodologia de expansão foi pautada na estimativa dos seguintes dados da amostra:

- População residente por zona: quando possível, a zona de residência de um usuário foi definida como a zona em que o indivíduo se encontra, com maior frequência, no período entre 22:00 horas e 06:00. A soma de todos os indivíduos da amostra cujo local de residência pode ser identificado por essa metodologia constitui a população residente.
- População trabalhadora por zona: quando possível, a zona de trabalho de um usuário foi definida como a zona em que o indivíduo se encontra, com maior frequência, no período entre 09:00 horas e 15:00. A soma de todos os indivíduos da amostra cujo local de trabalho pode ser identificado por essa metodologia constitui a população trabalhadora.

O fator de expansão da população residente em uma zona i é calculado pela relação:

$$fator\ de\ expans\~ao_i = rac{popula\~c\~ao\ residente\ censo}{popula\~c\~ao\ residente\ amostra}$$

Em seguida, pode-se realizar a expansão da matriz OD da amostra, aplicando-se o peso calculado para todas as viagens realizadas por um indivíduo residente na zona i. Esse tratamento não é aplicado para volumes de viagem pequenos (inferiores à 5), que são excluídos da matriz final. São também excluídos da matriz final deslocamentos curtos, com distância menor que 500 m, por motivos de precisão da localização dos usuários.

O motivo de viagem é determinado quando as zonas de residência e trabalho de um indivíduo são conhecidas. Se a viagem é efetuada entre essas zonas, o motivo é considerado "trabalho/estudo". Caso contrário, o motivo é considerado "outros".

### 2.4.2. RESULTADOS

Para os dados coletados durante o mês de novembro 2019, a matriz OD expandida obteve 6,46 milhões de viagens para um dia útil. Como esperado, o volume de viagens para sábados, domingos e feriados são consideravelmente menores. A população considerada para toda a RMBH é de 3,95 milhões de habitantes, cerca de 30 % inferior às projeções de população do

IBGE para o mesmo ano, visto que a o público amostrado considera apenas pessoas acima de 18 anos.

O índice de mobilidade é o indicador do número de viagens por habitante por dia, isto é, a razão entre o número de viagens e a população total. Para o ano de 2019, de acordo com a Matriz OD Pessoas - Telefonia, esse índice é de 1,63 viagens/hab./dia para os habitantes da RMBH (população maior de 18 anos e deslocamentos acima de 500 m).

A Figura 13 apresenta as principais linhas de desejo identificadas na matriz OD de telefonia (2019). Assim como observado na matriz de bilhetagem eletrônica do mesmo ano, a demanda principal se caracteriza por deslocamentos radiais em direção às diferentes regiões de Belo Horizonte. Municípios como Betim e Contagem também atraem um volume importante de viagens de municípios lindeiros.

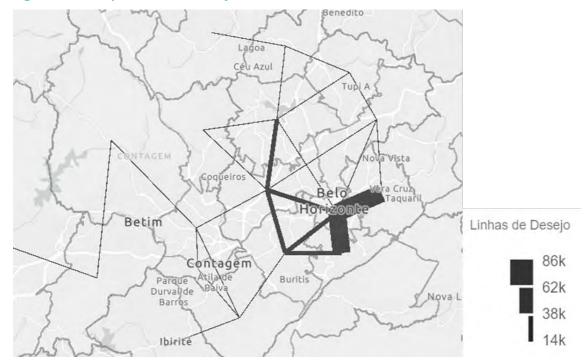


Figura 13: Principais linhas de desejo da matriz OD VIVO, 2019

Fonte: Elaboração própria, 2021.

### 2.4.3. LIMITAÇÕES

O uso de dados de telefonia, em especial no caso da RMBH, permitiu estabelecer uma fonte de dados confiável para o estudo dos padrões de mobilidade para os anos de 2019 e 2021. Contudo, pode-se identificar algumas limitações ligadas ao uso dessa fonte de dados e à metodologia aplicada.

• **Zonas geográficas:** a matriz OD de telefonia foi segmentada em 393 zonas, de acordo com a disponibilidade de antenas. Esse zoneamento permite uma precisão consideravelmente

menor que as zonas censitária (1002 zonas), em especial dentro do município de Belo Horizonte.

- Amostragem da população: A amostra inicial de dados de telefonia é de apenas 30 % da população da RMBH. Apesar da população amostrada ser consideravelmente superior àquela de uma pesquisa OD tradicional, esses dados ainda possuem uma precisão menor que os dados de Bilhetagem Eletrônica (amostra 100 %). Isso implica que ela representa apenas em parte os padrões de mobilidade da zona de estudo e um número reduzido de viagens realizadas.
- Público da matriz OD Telefonia: Os dados de telefonia VIVO possuem limitações quanto à população-alvo e quanto a alguns tipos de deslocamentos. São excluídos da matriz final todos os deslocamentos realizados por menores de 18 anos ou deslocamentos inferiores à 500 m, o que gera uma subestimação do volume de viagens e do índice de deslocamento geral. Isso impacta igualmente os dados demográficos expandidos: a população utilizada para a matriz OD é de apenas 3,95 milhões de habitantes na RMBH em 2019 (maiores de 18 anos), contra 5,4 milhões para o mesmo ano segundo os dados do IBGE (todas faixas etárias). Além disso, é possível que os dados de telefonia não sejam capazes de representar de forma mais adequada a população de baixa renda da RMBH e, nesse sentido, seria importante apresentar com transparência a distribuição das faixas de renda da população considerada na amostra. Esta informação possibilitaria a correção amostral de possíveis distorções no nível zonal com o objetivo de melhor representar as viagens em cada zona considerando o perfil socioeconômico de seus moradores.
- Dados socioeconômicos e perfil dos indivíduos: diferentemente de uma pesquisa OD tradicional, não é possível conhecer precisamente os modos utilizados ou os dados socioeconômicos da população amostrada, tais como gênero, faixa etária, ocupação e renda.

### 2.5. MATRIZ OD PESSOAS 2021 - APLICATIVOS

As consultorias envolvidas no projeto têm, já há algum tempo, estudado o uso dos dados de aplicativos e desenvolvido soluções para tratamento e uso destes. Com isso, entendeu-se oportuno utilizar o produto deste desenvolvimento para a RMBH, com o objetivo de complementar as análises relativas à migração modal, bem como para identificar tendências de demanda e lacunas de oferta.

No que se refere à pesquisa com base em aplicativos, é importante ressaltar que todos os dados fornecidos estão de acordo com as leis de proteção de dados, sendo respeitadas a individualidade e a privacidade de todos os usuários.

O fornecedor dos dados de aplicativos utilizados na construção da matriz OD possui integração com milhares de "SDK's" (Software Development Kits), um conjunto de ferramentas utilizadas no desenvolvimento de softwares e aplicativos para dispositivos móveis, que permite diversos benefícios na função de desenvolvedor, dentre eles a obtenção de dados anônimos para implementação de melhorias e realização de "surveys" com as informações obtidas por meio das leituras dos componentes do hardware do dispositivo, estando presente em mais de 71 milhões de celulares no Brasil. Dentre os diversos dados obtidos anonimamente, esses

aplicativos nos enviam a localização GPS, perfil demográfico, socioeconômico e interesses dos usuários, sem informar nenhum dado pessoal ou que identifique a pessoa, garantindo assim a privacidade e a segurança de cada usuário, tornando o método aceito nas leis de proteção de dados (LGPD), como supracitado.

Baseado nesses dados fornecidos pelos aplicativos, podemos avaliar os passantes no local indicado na pesquisa (Latitude e Longitude) no raio de abrangência em períodos de até 90 dias passados. Para o projeto de desenvolvimento dos dados, cada período de 90 dias está sendo armazenado para gerar oportunidades de estudo dos padrões de deslocamento dos usuários. A coleta dos dados se deu apenas a partir de 2021, pois, em função do volume colossal de armazenamento, os dados são descartados a cada 3 meses.

Esperava-se, no início do projeto, em dezembro de 2020, que a pandemia de Covid, iniciada em dezembro de 2019, já estivesse no final e, portanto, seria possível utilizar dados sob os efeitos da pandemia (de janeiro/21 a março/21) e, ainda, de um período pós pandemia, a partir de agosto/21). Estes dados comparados com os hábitos de viagens dos usuários de transporte coletivo antes da pandemia, advindos da base do sistema de bilhetagem eletrônica usada para a construção da matriz que alimenta o modelo de simulação, seriam utilizados para orientar a projeção da demanda, em uma tentativa de aprender os novos hábitos adquiridos pós pandemia.

Contudo, esta estratégia foi frustrada pela realidade dos fatos e, tendo em vista as transformações que poderão ocorrer nos hábitos de deslocamento da população, é possível que a pesquisa por aplicativos, para o período disponível, traga resultados pouco expressivos para as análises que se fazem necessárias. Assim, outros elementos poderão ser agregados ao estudo ou mesmo decidir-se por avaliar as tendências com os resultados da OD de Telefonia (descrita no item 2.4), disponível para os períodos de novembro/19 e abril/21.

Embora as medidas de distanciamento social e a baixa mobilidade das pessoas afete o resultado das pesquisas, isto não se mostrou um impeditivo para o estudo dos deslocamentos, a identificação dos padrões e a extrapolação de comportamentos futuros com base em outras informações da cidade, como locais de moradia e de trabalho, provou-se de extrema utilidade. É provável que a pandemia afete a maneira como as pessoas passarão a se mover no futuro, e somente no futuro será possível obter respostas sobre quais mudanças serão duradouras.

No momento atual, ainda sob os efeitos das medidas de isolamento social, serão infrutíferas as tentativas de previsão de futuro acerca dos novos hábitos de deslocamento da população, restando mais adequada a utilização dos dados anteriores à pandemia, para a simulação da rede de transporte, e a realização de análises de sensibilidade com os dados que se mostrarem mais ajustados à projeção de tendências.

### 2.5.1. METODOLOGIA

No decorrer do projeto, foram analisadas três amostras de dados conforme a Tabela 5. Os dados foram coletados a partir de identificadores (IDs) que foram geolocalizados no limite da RMBH. Após a coleta inicial diversos tratamentos foram impostos à base bruta de dados para a construção de uma matriz de origem e destino.

Tabela 5: Amostras dos dados de aplicativos (OD Pessoas, 2021)

AMOSTRA	#PINS	#IDS	PERÍODO	TIPO
1	348.980.099	465.103	Dez/2020 a mar/2021	Amostra
2	256.377.932	451.707	Abr/2021 a jun/2021	Amostra
3	860.088.696	2.057.500	Jun/2021 a set/2021	Dado completo

Cada registro da base (PIN) corresponde a uma chamada de geolocalização que uma aplicação faz a um dispositivo móvel. A realização da "chamada" é controlada por cada aplicativo, e não é possível ter acesso ou controle sobre a frequência da coleta. Os dados são enviados de maneira padronizada, contendo informação de latitude, longitude, data hora, identificador do celular e dados socioeconômicos inferidos (faixa etária, faixa de renda e sexo). É importante ressaltar que um PIN não está restrito ao uso do aparelho/aplicativo, uma vez que o dispositivo precisa apenas estar ligado e, se não há conexão com a internet, o dado é armazenado localmente e depois enviado à base de dados.

Pela Tabela 6 é possível observar que a massa de dados tem um potencial de abarcar cerca de 25 % da população da RMBH na terceira coleta realizada. Contudo, com o desenvolvimento do tratamento e filtragem realizada nos dados, esse número foi reduzido a apenas 9 % da população.

Tabela 6: Média de IDs únicos segundo amostras dos dados de aplicativos (OD Pessoas, 2021)

AMOSTRA	DATA INÍCIO	DATA FIM	MÉDIA DE IDs ÚNICOS POR DIA
1	24/12/2020	22/03/2021	36oK
2	03/04/2021	29/06/2021	346K
3	08/06/2021	03/09/2021	1.5M

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Por não ser possível controlar a frequência da amostragem dos dados, há pouca variação na distribuição do número de PINs por faixa horária, não existindo um pico relacionado a viagens. Isso evidenciou uma fragilidade no desenvolvimento, não pela falta de um pico, mas pela baixa frequência geral de número de PINs para cada usuário, sendo impossível determinar com precisão o início e o fim de cada viagem.

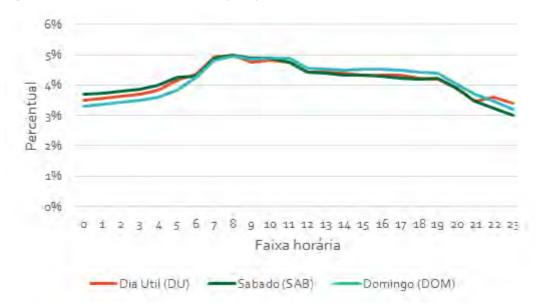


Figura 14: Percentual do número de pins por faixa horária

A metodologia geral para a transformação dos registros de geolocalização para padrões de viagens pode ser resumida pelos sequintes tópicos:

### 1. FILTRAGEM DOS DADOS

- Remoção de usuários com pouca densidade de pins;
- Remoção de usuários não residentes;
- Clusterização de pontos próximos para evitar viagens curtas geradas por erro de GPS.

### 2. DEFINIÇÃO DE PERMANÊNCIA

- Identificação de zonas de visitação frequente;
- Determinação de tempo de permanência aproximado (não é possível determinar quando o usuário saiu/entrou em cada zona);
- Identificação de deslocamentos entre zonas de permanência;
- Seleção do par OD mais frequente do usuário e com mais viagens, usando apenas dados a partir de 01/07/2021<sup>2</sup> (Figura 15);
- Viagens por dia obtidas após tratamento dos dados completos recebidos;

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> A filtragem para compor o estudo levou em consideração apenas viagens após o dia 01/07/2021 por apresentarem maior estabilização dos dados.

- Cada dia contém um conjunto distinto de usuários;
- O mesmo usuário pode aparecer em mais de um dia;
- As viagens aumentam conforme o tempo passa (efeito Covid).

O1/07/2021

Spurson 60

40

30

20

10

0

Branar Instant Inst

Figura 15: Seleção de pares OD após 01/07/2021

### 3. EXPANSÃO

- Definição da zona de residência/trabalho por tempo de permanência e densidade de pontos;
- Expansão para total de residentes por setor censitário da estimativa de 2020 do PlanMob;
- Matriz Origem-destino usando todos os registros de deslocamento a partir de AGO-2021 dos dias úteis.

Na Figura 16 pode-se observar o engajamento dos usuários a partir do dia 01/07/2021, data de corte para análise dos dados e recomposição das viagens. 30 % dos aparelhos foram identificados nos 47 dias úteis analisados, e, de maneira acumulada, 80 % dos dispositivos estão presentes em pelo menos 25 dos 47 dias analisados.

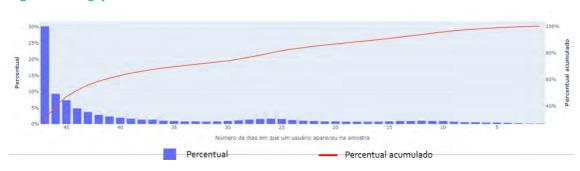


Figura 16: Engajamento dos usuários em 47 dias úteis

Além do engajamento dos usuários, um fator importante é a frequência de coleta de dados individual de cada aparelho para que seja possível determinar se houve ou não deslocamento. A grande massa de dados, apesar de apresentar alguns usuários com alta frequência de PINs (há usuários que registraram acima de 400 PINs/dia), apresenta uma média de apenas 6 PINs por dia (Figura 17). Essa baixa amostragem que abarca grande parte dos usuários é uma limitação na construção do padrão de viagens, sendo necessária a análise de vários dias para confirmação se um deslocamento é frequente ou não, minguando assim a possibilidade esperada de geração de uma OD por dia.



Figura 17: Demonstrativo de pins detectados de cada usuário por dia

### 2.5.2. RESULTADOS

O número total de descolamentos contabilizados na matriz OD expandida é de 7,9 milhões de viagens em um dia útil. A Figura 18 apresenta um mapa de atração e produção de viagens para um dia útil. O município de Belo Horizonte concentra aproximadamente 50 % dos deslocamentos em transporte coletivo da RMBH, seguida por Contagem, com 12 %, e Betim, 8 %. Apenas 30 % do número total de viagens são produzidos pelos demais municípios da RMBH. Essa tendência é também observada para as viagens atraídas pelos municípios.

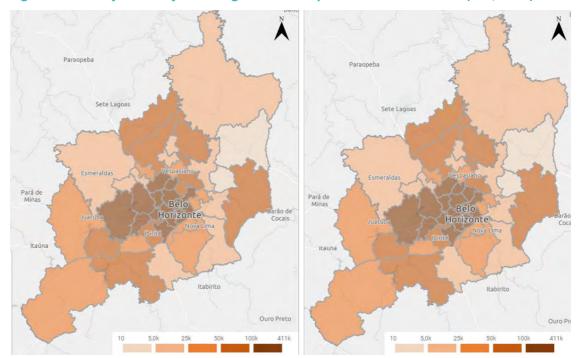


Figura 18: Produção e atração de viagens em transporte coletivo na RMBH (SBE, 2019)

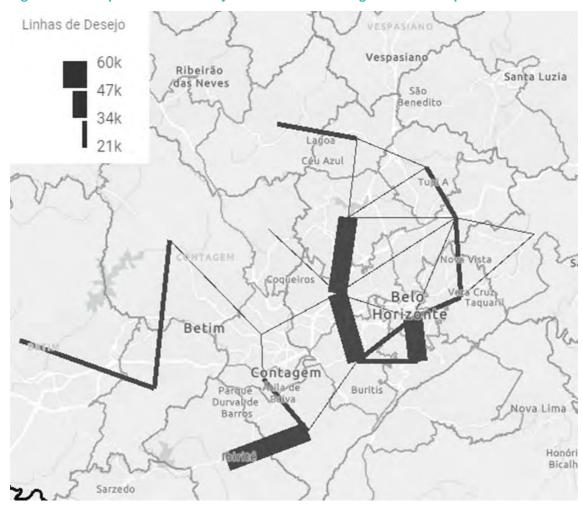
Fonte: Elaboração própria, 2021.

A Figura 19 apresenta as linhas de desejo mais relevantes identificadas na matriz baseada nos dados de aplicativo de 2021 para 46 macrozonas da RMBH. Observa-se que a centralidade de Belo Horizonte é menos evidente em relação aos resultados da matriz que contém apenas os deslocamentos de transporte coletivo. Há deslocamentos significativos de/para Betim, Contagem e Ibirité. A Tabela 7 apresenta o percentual das 10 macrozonas mais relevantes em produção de viagens segundo o resultado da matriz por aplicativos.

Tabela 7: Macrozonas com maiores volumes de viagens produzidas

NOME MACRO ZONA	% VIAGENS PRODUZIDAS
BH CENTRO-SUL	8,6 %
BH NOROESTE	6,8 %
BH OESTE	6,1%
BH BARREIRO	5,8%
BH NORDESTE	5,3 %
BT OESTE	5,1%
BH LESTE	5,1%
BH VENDA NOVA	4,7 %
BH PAMPULHA	4,6 %
CT ELDORADO	3,9 %

Figura 19: Principais linhas de desejo da matriz de bilhetagem eletrônica para um dia útil



Fonte: Elaboração própria, 2021.

### 2.5.3. LIMITAÇÕES

O uso de dados de telefonia por aplicativo foram complementares nesse estudo para identificar padrões de mobilidade e trazer mais uma inovação metodológica para a identificação de deslocamentos de uma cidade por meio de *Big Data*. A experiência no projeto permitiu a identificação e ressaltou as principais áreas de atenção em projetos futuros para a realização de projetos semelhantes no futuro.

- Amostragem: A amostra inicial dos dados fornecida foi de quase 25 % da população da região metropolitana. Entretanto, após tratamento e filtragem dos dados em que se conseguiu identificar deslocamentos frequentes, o total de identificadores únicos foi de apenas 9 %. Essa queda na amostra demonstra a necessidade de testar os dados do fornecedor antes da obtenção da matriz, principalmente quanto a frequência de coleta de dados por indivíduo/dia.
- Público da matriz: Os dados são provenientes de aplicativos instalados em celulares e, nesse sentido, estabelecer parcerias com muitos aplicativos de estratos diferentes da sociedade é importante para se ter uma amostra homogênea da população. O dado de origem dos aplicativos é sigiloso, porém, o número de aplicações parceiras nesse estudo foi determinante para se ter uma amostra confiável. Assim como na OD por telefonia, os menores de idade são excluídos dos dados, e não há informação do número de pessoas sem smartphones na RMBH, que poderia indicar o percentual de pessoas que está fora da amostra.
- Dados socioeconômicos e perfil dos indivíduos: diferentemente de uma pesquisa OD tradicional, não é possível conhecer precisamente os modos utilizados ou dados socioeconômicos da população amostrada, tais como gênero, faixa etária, ocupação e renda. Os dados socioeconômicos são inferidos pelo fornecedor de acordo com o uso do aparelho e aplicações nele instaladas.

## 2.6. ANÁLISES COMPARATIVAS

### 2.6.1. DIVISÃO MODAL E ÍNDICE DE MOBILIDADE

A partir das matrizes OD SBE (2019) e OD Telefonia (2019), descritas respectivamente nos capítulos 2.3 e 2.4, uma metodologia foi aplicada para estimar a divisão modal e o índice de mobilidade da RMBH por modo para o ano de 2019. Contudo, é necessário notar que existem limitações intrínsecas ao uso simultâneo dessas duas fontes de dados, visto que as metodologias e amostragens são diferentes.

### 2.6.1.1. VALIDAÇÃO DAS BASES DE DADOS

Para validação dos resultados obtidos para 2019, duas bases de dados complementares foram analisadas, são elas:

### PESQUISA OD RMBH (2012)3

A pesquisa Origem-Destino da RMBH (2012) constitui uma base de dados de referência para as pesquisas mais recentes. Ela representa a fonte de dados de mobilidade da RMBH mais completa e recente anterior ao ano de 2019. Os dados de viagem da pesquisa foram coletados e agregados segundo 1288 áreas homogêneas.

A fim de estabelecer um paralelo entre a OD 2012 e as novas pesquisas (2019), apenas uma parte das viagens identificadas na pesquisa OD foi utilizada para estimar a divisão modal e índices de mobilidade de referência para esse ano. A redução dessa matriz teve por objetivo excluir modos e deslocamentos que não estão contemplados na matriz OD de telefonia de 2019. O volume de viagens final considerado para 2012 é de 9,8 milhões de viagens, que não incluem:

- viagens realizadas por menores de 18 anos no caso de modos individuais e não motorizados;
- viagens cuja distância de deslocamento seja inferior a 500 m no caso de modos individuais e não motorizados; e,
- modos coletivos não considerados nos dados de bilhetagem eletrônica, tais como modos escolares.

### **ANTP (2018)**

O Sistema de Informações da Mobilidade Urbana é um relatório a nível nacional publicado pela Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) relativos aos dados de 2018. Tendo em vista a metodologia aplicada pela ANTP, esse estudo pode ser adotado como uma base de referência para a RMBH 2019. Os indicadores de mobilidade considerados a título de comparação concernem apenas municípios de mais de 1 milhão de habitantes, a fim de obter dados comparáveis com a RMBH.

O estudo é realizado com base em dados de referência da Região Metropolitana de São Paulo (2007), da Região Metropolitana de Campinas (2011), da Região Metropolitana de Salvador (2012), da Região Metropolitana de Natal (2006) e da Região Metropolitana de Ribeirão Preto (2011), contemplando uma população total de mais de 60 mil habitantes.

<sup>3</sup> A matriz OD 2012 foi analisada de forma complementar, uma vez que, por ser a mais recente pesquisa origem-destino realizada com coleta de dados de maneira tradicional e domiciliar na RMBH, é a principal referência para análise dos dados das pesquisas mais recentes. A análise comparativa desenvolvida no âmbito desse estudo desconsiderou parte dos dados da OD 2012 com o objetivo de excluir modos e deslocamentos que não estão contemplados na matriz OD de telefonia de 2019.

#### 2.6.1.2. METODOLOGIA

Com o intuito de estimar a divisão modal e o índice de mobilidade por modo da RMBH para o ano de 2019, a metodologia aplicada consiste em combinar as matrizes OD de telefonia (6,46 milhões de viagens) e de bilhetagem eletrônica (2,04 milhões de viagens).

Como os dados de telefonia permitem coletar todas as viagens sem distinção entre modos de transporte, considera-se que ela agrega deslocamentos para todos os modos (motorizados e não motorizados). Dentro da categoria de viagens motorizadas, considera-se que a matriz de bilhetagem eletrônica agrega todas as viagens de transporte coletivo. A Figura 20 apresenta os modos considerados para cada matriz OD de 2019.

Todos modos agregados VIVO, 2019 Modos não **Modos motorizados** motorizados A pé Bicicleta Individual Coletivo Automóvel SBE, 2019 Moto Taxi Ônibus coletivo Caminhão Metrô Metropolitano

Figura 20: Modos de transporte considerados para as bases de dados VIVO-SBE 2019

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Para estimar o volume de viagens realizado para cada modo agregado (não motorizado, coletivo e individual), foi necessário estimar inicialmente o número de viagens não motorizadas na matriz de telefonia. Essa estimação foi realizada com base nos índices de mobilidade da Pesquisa OD 2012 da RMBH (média ponderada do número de viagens não motorizadas por habitante):

- Deslocamentos internos à zona: 0,35 viagens / hab.
- Deslocamentos internos à macrozona: 0,43 viagens / hab.
- Deslocamentos entre macrozonas (adjacentes): 0,09 viagens / hab.

A aplicação desses índices à matriz OD de telefonia permitiu estimar um volume de 1,6 milhões de viagens não motorizadas para o ano de 2019. O restante das viagens, de 4,8 milhões, são atribuídas à modos motorizados (coletivos e individuais). A subtração entre a matriz de modos motorizados e a matriz de bilhetagem eletrônica permitiu estimar um volume de 2,8 milhões

de deslocamentos por modos individuais. A Figura 21 sintetiza a metodologia aplicada para cada modo e o número de deslocamentos obtidos.

Todos os modos Total de viagens VIVO, 2019 Modos não motorizados Estimação de viagens não motorizadas Modos motorizados [Total de viagens VIVO] - [modos não 6,4 M 1,6 M motorizados1 Modos coletivo 2,0 M 4,8 M Total de viagens SBE, 2019 Modo individual 2,8 M [Viagens modos motorizados] - [total de viagens SBE]

Figura 21: Volume de viagens por modo (VIVO-SBE, 2019)

Fonte: Elaboração própria, 2021.

É importante notar que para alguns pares OD, o volume de viagens da matriz de telefonia é o mesmo ou inferior ao volume de viagens da matriz de bilhetagem eletrônica. Esse resultado induziria à conclusão de que todas as viagens realizadas entre essas zonas utilizariam o modo transporte coletivo. Isso ocorre em função das limitações identificadas na matriz OD de telefonia, apresentadas no item 2.4.3, que possivelmente estão relacionados ao banco de dados e à metodologia de expansão da amostra.

### 2.6.1.3. RESULTADOS

A divisão modal considera o volume de viagens realizado por um modo em relação ao volume total de deslocamentos. A Figura 22 apresenta os resultados de divisão modal geral da RMBH para 2019 em comparação às bases de dados adotadas como referência (OD RMBH 2012 e ANTP 2018).

Observa-se que a divisão modal continua comparável ao ano de 2012, com um aumento da participação dos modos motorizados individuais de 3 pontos percentuais em detrimento dos modos não motorizados. Vale ressaltar que, para título de comparação com as novas bases de dados, as viagens consideradas no cálculo de divisão modal de 2012 não consideraram menores de 18 anos (exceto viagens por transporte coletivo), deslocamentos menores que 500 m e modos não contemplados na matriz de bilhetagem eletrônica, tais como modos escolares.

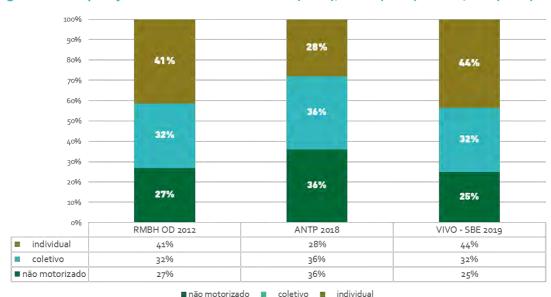


Figura 22: Comparação divisão modal: OD RMBH (2012), ANTP (2018) e VIVO/SBE (2019)

O índice de mobilidade, apresentado na Figura 23, foi calculado como número de viagens dividido pelo número de habitantes. Para cálculo, foram considerados três dados de população distintos: 1) para a análise da OD 2012, foi considerada a população levantada pelo IBGE para o ano de 2012, de 4,86 milhões de habitantes; 2) para as viagens obtidas pela matriz de telefonia, a população considerada foi de 3,9 milhões de habitantes (público a partir de 18 anos e ajustado para a população estimada em 2019<sup>4</sup>); 3) para as viagens em transporte público, obtidas por meio da matriz de bilhetagem eletrônica, foi considerada a população estimada pelo IBGE para o ano de 2019, de 5,4 milhões de habitantes, visto que esse dado não faz distinção de idade.

-

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> A inferência do universo de população indicada no Relatório de Metodologia e Resultados OD RMBH 2019-2021 (SEINFRA, ARMBH e VIVO, 2021, p. 43) foi de 3,9 milhões de habitantes, considerando as extrapolações realizadas no estudo.

Figura 23: Comparação índices de mobilidade por modo: OD RMBH (2012), ANTP (2018) e VIVO/SBE (2019)



Apesar da divisão modal ter permanecido parecida com a do ano de 2012, observa-se que o índice de mobilidade total de 2019 é comparativamente inferior ao ano de 2012, passando de 2,03 viagens/habitante/dia para 1,63 viagens/habitante/dia. Essa redução se deve ao menor volume de viagens em relação ao ano de 2012. Entretanto, não é possível afirmar que o volume médio de deslocamentos por habitante na RMBH reduziu, uma vez que a OD 2012 e a OD Telefonia 2019 possuem metodologias, bases de dados e premissas distintas.

A Figura 24 apresenta o volume de viagens produzido por macrozona para os anos de 2012 e 2019. Como indicado anteriormente pelo índice de mobilidade, observa-se uma redução importante do número de viagens produzidas na RMBH, que é mais acentuada para o município de Belo Horizonte e municípios lindeiros, como Contagem e Betim. A mesma tendência é observada para a redução do número de viagens em transporte público entre os mesmos anos.

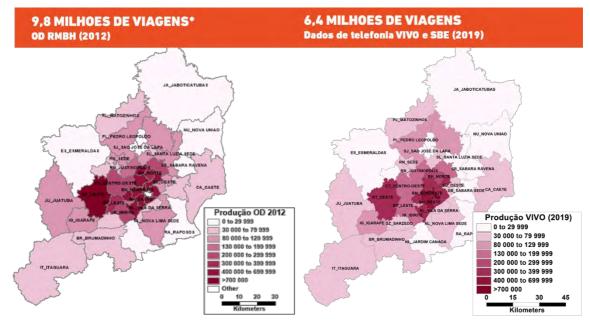


Figura 24: Produção de viagens por macrozona: OD RMBH (2012) e VIVO (2019)

### 2.6.2. COMPARAÇÃO ENTRE AS MATRIZES MAIS RECENTES

A Região Metropolitana de Belo Horizonte conta com diversas de bases de dados de deslocamento considerando diferentes segmentos da população. Como apresentado anteriormente, essas bases foram construídas com metodologias distintas, o que, por um lado, proporciona uma riqueza de dados e indicadores para diferentes anos, e, por outro, impossibilita a comparação direta entre essas matrizes sem a realização de tratamentos prévios.

Tendo em vista essas limitações, esta seção se dedica a apresentar uma comparação dos resultados das matrizes Origem-Destino da RMBH mais recentes: a Pesquisa OD RMBH (2012), a Matriz de Bilhetagem Eletrônica (2019), a Matriz de Telefonia (2019 e 2021) e a Matriz de Aplicativos (2021). As metodologias utilizadas na construção dessas matrizes foram apresentadas nas seções anteriores do presente relatório (2.3, 2.4 e 2.5).

Uma primeira diferença que se evidencia entre essas matrizes é o volume de viagens. As matrizes de pessoas (aplicativos e telefonia) são capazes de coletar um volume significativo de deslocamentos de forma mais rápida e com menor custo em um curto período. Esses volumes se aproximam dos volumes obtidos em uma pesquisa OD tradicional. Assim, as novas metodologias utilizadas na construção das matrizes mais recentes obtêm amostragens representativas da população da RMBH: a Matriz OD de Telefonia considera uma amostra inicial estimada em 30 % da população de RMBH, com um volume de 6,4 milhões de deslocamentos em 2019; a OD de Aplicativos considera uma amostra final estimada em 9 % da população, com um volume de 7,9 milhões de viagens em 2021.

A Matriz de Bilhetagem Eletrônica (SBE, 2019) constitui um dado bastante confiável dos deslocamentos em transporte público e das tendências de deslocamentos dos usuários desses

modos de transporte. Ela é construída com base em uma amostragem inicial de aproximadamente 100 % desse segmento da população, com um volume de 2,04 milhões de deslocamentos para o período de novembro de 2019. Após o tratamento desses dados, a matriz OD SBE possui uma amostragem de cerca de 46 % da população usuária de transporte público da RMBH.

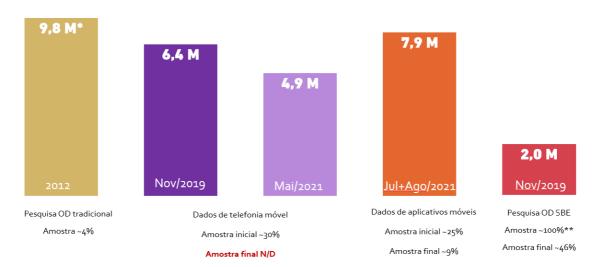


Figura 25: Volume de viagens e amostragem das matrizes mais recentes da RMBH

Fonte: Elaboração própria, 2021.

A Figura 26 apresenta a distribuição percentual das viagens para diferentes bases de dados da RMBH nos anos de 2012, 2019 e 2021. Observa-se uma semelhança na distribuição de viagens para maior parte das bases de dados consideradas. A matriz de aplicativos do ano de 2021 não apresenta o mesmo padrão de picos das demais matrizes, o que é uma particularidade deste método de coleta de dados. Nota-se também um deslocamento do horário de pico da manhã das matrizes VIVO (2019 e 2021). Isso pode ter explicação no fato que os dados de telefonia captam o horário de saída do usuário, enquanto outras bases de dados podem partir do horário de saída das linhas de transporte, como pode ser por vezes o caso da matriz de bilhetagem eletrônica. Nesse caso, nota-se que a matriz de bilhetagem eletrônica tem o pico da manhã mais cedo que outras bases de dados.

Pesquisa 2012 Vivo 2019 Vivo 2021 Pesquisa Bilhetagem 2019 Matriz App 2021

10%

5%

10 15 20

Faixa Horária

Figura 26: Percentual da demanda por faixa horária

A Figura 27 apresenta um histograma da frequência de deslocamentos em função da distância percorrida. De uma maneira geral, observa-se uma tendência semelhante entre os deslocamentos das diferentes bases de dados. Um volume importante de viagens percorre médias a longas distâncias (entre 6 km e 12 km). Um pico das viagens de transporte público é observado para deslocamentos percorrendo entre 15 km e 18 km.

20%

Pesquisa 2012

OD Vivo 2019

OD Vivo 2021

Bilhetagem

Matriz App

Maior que

40 km

Figura 27: Histograma de frequência de deslocamentos pela distância percorrida

Fonte: Elaboração própria, 2021.

A análise comparativa entre as matrizes foi desenvolvida a partir de visualizações interativas do banco de dados por meio da ferramenta Power BI. Este arquivo foi disponibilizado aos órgãos gestores e apresentado em reunião pública do Comitê Técnico de Mobilidade da RMBH (CTMob). O arquivo pode ser acessado no site da Agência Metropolitana, permitindo análises complementares às que foram aqui apresentadas.<sup>5</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Disponível em: http://www.agenciarmbh.mg.gov.br/bi-matriz-od-bilhetagem/

# 3. MODELO DE DEMANDA

Este item apresenta a metodologia do modelo de demanda utilizado para avaliação dos cenários futuros do presente estudo.

### 3.1. OBJETIVOS E ARQUITETURA DO MODELO

Um modelo de demanda de transporte consiste na representação simplificada da rede (oferta) e da demanda de transporte de uma área de estudo a fim de prever as condições de mobilidade futuras e propor adaptações em coerência com a evolução socioeconômica local. Os modelos podem ser desenvolvidos para todos os modos de transporte da região de estudo (modos individuais, não motorizados, coletivos) ou para apenas um segmento da operação. No presente estudo, o modelo focou na demanda da rede de transporte coletivo.

Tendo em vista a disponibilidade de dados relativos à demanda de viagens, dados socioeconômicos e ao sistema de transporte, optou-se pela adaptação da metodologia aplicada comumente em modelos denominados "quatro etapas". Os métodos apresentados neste capítulo seguem o processo sequencial convencional desses modelos para estimação da demanda, que pode ser dividido nas principais etapas:

- Etapa 1 Geração de viagens Estimar o número de viagens de passageiros que são produzidas e atraídas pelas zonas de origem e zonas de destino respectivamente;
- Etapa 2 Distribuição de viagens Estimar o número de viagens de passageiros que são feitas entre as origens e os destinos;
- Etapa 3 Migração Estimar a mudança do modo individual para o modo coletivo para viagens de passageiros entre as origens e os destinos; e
- Etapa 4 Alocação Estimar os caminhos que cada par OD utiliza na rede de modelagem, determinando o volume em cada link entre as origens e os destinos.

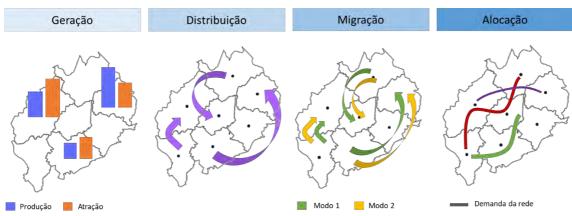


Figura 28: Estrutura de um modelo quatro etapas

Fonte: Elaboração própria, 2021.

# 3.2. ETAPA DE GERAÇÃO

Esta primeira etapa do processo de modelagem em quatro etapas tem como objetivo estimar a quantidade de viagens produzidas ou atraídas por cada zona de tráfego. A produção e atração de viagens, no período do pico manhã, podem ser explicadas por variáveis socioeconômicas. As viagens são, tipicamente, iniciadas a partir das residências das pessoas e motivadas por atividades de trabalho, estudo, entre outras.

O principal dado de saída desta etapa são os totais de atração e produção de cada zona para os diferentes horizontes de estudo. É necessário assegurar que o número total de viagens atraídas e produzidas sejam equilibrados em cada ano de projeção. Esses totais são projetados com base nos totais observados para um ano de referência. No contexto do presente estudo, são adotadas as matrizes OD de Bilhetagem Eletrônica de 2019, que foram apresentadas no item 2.3 do Capítulo 2.

A fim de estimar o número de viagens por zona, as variáveis apresentadas a seguir foram empregadas nas análises de geração de viagens do modelo. Tal fato se deve, sobretudo, à sua importante correlação com a produção e atração de viagens, à disponibilidade dos dados socioeconômicos em escalas que podem ser agregadas em zonas de transporte e à possiblidade de projeção das variáveis para os anos do horizonte de estudo. São elas:

- População: número total de habitantes que residem em cada zona de transporte;
- Trabalho: número total de postos de trabalho que estão localizados em cada zona de transporte; e,
- Estudo: número total de vagas em estabelecimento de ensino situados em cada zona de transporte.

Para cada uma das variáveis, foram coletados dados brutos para o ano de referência (2019) em seguida projetadas para os horizontes de estudo na escala do macrozoneamento.

### 3.2.1. ANÁLISE DE REGRESSÃO PARA GERAÇÃO DE VIAGENS

A regressão linear múltipla é uma análise estatística, que explica a relação entre uma variável explicada e duas ou mais variáveis explicativas. Esta ferramenta é comumente aplicada para a estimativa da geração de viagens futuras.

O objetivo consiste em identificar, separadamente, a influência de cada variável agindo associadamente a outras variáveis. A forma da equação é apresentada abaixo:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n$$

Onde:

y = variável explicada;

 $x_1, ..., x_n$  = variáveis explicativas relacionadas, por exemplo, ao uso do solo ou características socioeconômicas;

 $\beta_0$  = coeficiente de intersecção de regressão linear; e

 $\beta_1, \dots, \beta_n$  = coeficientes de regressão das respectivas variáveis.

Para alcançar um modelo representativo de regressão linear múltipla é necessário, a princípio, estabelecer variáveis explicativas que estão relacionadas ao comportamento de geração de viagens. Assim, as variáveis devem apresentar também um certo nível de significância.

Uma vez definido o modelo estatístico, ele deve ser validado. Para este fim, são aplicados testes estatísticos que permitem a avaliação das variáveis adotadas e suas correlações:

- Coeficiente de correlação múltipla (R): esta estatística padrão comumente utilizada indica
  o grau de associação entre a variável explicada (y) e as variáveis explicativas. Seu valor varia
  em um intervalo de -1 e 1. Quanto mais próximo o coeficiente for de 1 (ou -1), melhor será
  a relação linear entre as variáveis. Por sua vez, a segunda potência de R (R²) representa o
  percentual de variação do "y" que pode ser explicado pelas variáveis explicativas.
- Testes do p-valor e t-valor: orientam a determinação de que o resultado de cada coeficiente da regressão é estatisticamente relevante, e não uma obra do acaso. Um t-valor igual a zero indica que o resultado da amostra é idêntico à hipótese nula. À medida que a diferença aumenta entre a amostra e a hipótese nula, o valor absoluto de t também aumenta. Assim, quanto maior a magnitude de t, maior a evidência de recusarmos a hipótese nula. A relação entre t e p é inversa, de modo que, quanto maior t, menor p. Se o p-valor é maior que um nível de significância escolhido, isso sugere que os dados observados são inconsistentes com a hipótese nula e ela deve ser rejeitada.
- Teste de Durbin-Watson: utilizado para detectar a presença de autocorrelação (dependência) nos resíduos de uma análise de regressão. Este teste é baseado na suposição de que os erros no modelo de regressão são gerados por um processo autorregressivo de primeira ordem. Se os erros estiverem correlacionados, a regressão de mínimos quadrados pode subestimar o erro padrão dos coeficientes. Os erros padrão subestimados podem fazer com que seus preditores pareçam significativos quando eles não são. Com uma escala que varia de o a 4, quanto mais próximo de 2, o teste indica que não há dependência nos resíduos, sendo a regressão válida.

Portanto, a regressão linear múltipla foi usada para determinar dois modelos de regressão: um para estabelecer o número de viagens originadas por zona, e outro para estabelecer o número de viagens destinadas por zona, com base nas variáveis de regressão de população, emprego e estudo.

#### 3.2.1.1. TRATAMENTO DE DADOS SOCIOECONÔMICOS

Para a regressão linear que possibilita encontrar coeficientes para a projeção da demanda, foram utilizados alguns dos bancos de informações públicas de censos e pesquisas disponíveis. Os dados escolhidos foram tratados em nível de macrozoneamento, a fim de agregar espacialmente as informações baseadas nas residências dos indivíduos à localização do seu primeiro registro do bilhete eletrônico no sistema de transporte (maneira pela qual a origem do deslocamento é identificada no processo de geração da matriz de bilhetagem eletrônica). Nesse sentido, ressalta-se a importância de ter um zoneamento - bem como um macrozoneamento - que seja coerente com os setores censitários, unidade mínima de análise dos principais entes federativos.

Os dados tratados, com sua fonte, ano de referência, unidade de agregação e unidade utilizada, estão dispostos na Tabela 8:

Tabela 8: Bancos de dados oficiais utilizados

FONTE	ANO	DAD0	UNIDADE DE AGREGAÇÃO	UNIDADE UTILIZADA
Censo demográfico (IBGE)	2010	População	Setor censitário	Setor censitário
Estimativa de população <sup>6</sup>	2020	População por faixa etária	Setor censitário	Setor censitário
RAIS	2005 e 2018	Empregos formais	Município	Setor censitário
INEP	2019	Matrículas educação superior	Setor censitário	Setor censitário

Fonte: Elaboração própria, 2021.

### 3.2.1.2. REGRESSÃO LINEAR

A regressão linear é um passo importante para a obtenção de matrizes futuras, sendo uma técnica com base na estatística que relaciona uma variável explicada (origens ou destinos de viagens) a uma ou mais variáveis explicativas (dados socioeconômicos e demográficos). Assim, é possível estabelecer uma relação entre as predições feitas nas variáveis explicativas, a respeito das quais têm-se maior domínio ou controle, e a variável explicada em análise.

Para a determinação das equações lineares, que explicam origens e destinos de viagens, utilizou-se a ferramenta Análise de Dados do Excel e a biblioteca *statsmodels*<sup>7</sup> da linguagem de programação Python, que tornou possível a análise de diversas equações e escolha do conjunto de variáveis preditivas que mais se adequam às circunstâncias da regressão em análise (de produção ou atração de viagens).

### 3.2.1.3. ORIGEM DAS VIAGENS

A origem da viagem no pico da manhã é geralmente associada a origens domiciliares. Portanto, para a determinação de viagens produzidas por zona, contou-se com a variável população total por zona. Além dessa, para alcançar uma regressão mais satisfatória, foram acrescentadas duas variáveis qualitativas (variáveis dummies) para ajuste do modelo, em virtude de as origens

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Estimativa populacional para 2020, cuja metodologia foi descrita no Relatório P6 - Avaliação de Projetos, desenvolvido durante a Etapa 2 do estudo.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> https://www.statsmodels.org/

serem baseadas no embarque do transporte coletivo. As variáveis qualitativas adotadas foram presença de estação de metrô e presença de estação de BRT.

As variáveis explicativas analisadas devem apresentar baixa correlação entre si. Variáveis com forte relação de dependência (alta correlação) podem tendenciar os resultados da regressão linear e prejudicar a interpretação dos resultados. Assim, num primeiro momento, foi analisada a correlação de diversas variáveis explicativas coletadas, tais como população absoluta e densidade populacional.

O conjunto de variáveis que, pela verificação estatística do quadrado do coeficiente de correlação produto-momento, apresentassem baixa correlação (R<sup>2</sup> < 0,5), seguiam para os testes de regressão de diferentes combinações de variáveis. Conforme o esperado, as variáveis apresentavam alta correlação e a que melhor explicava a origem das viagens era população absoluta. Com base em resultados de indicadores de significância estatística (Teste F e F pvalor), no ajuste do modelo estatístico linear (R2) e do coeficiente Durbin-Watson, que avalia a independência dos resíduos (diferença entre valor observado e previsto), foram estabelecidos os melhores modelos para produção. Eventualmente, na determinação das regressões, foi permitida a eliminação de outliers, com a finalidade de refinar a aderência do modelo. A retirada de outliers foi restrita à 10 % do total de observações analisadas. Ademais, para melhorar o modelo, foi desconsiderada uma zona em que não havia nenhuma viagem com origem ou destino.

A forma final da função de regressão para a origem das viagens é:

$$O_i = 0.091 \times POP_i + 4477.181 \times METRO_i + 2110.260 \times BRT_i - 444.307$$

#### Onde:

- $O_i$  = número total de viagens de transporte público com origem na zona i no pico manhã
- $POP_i$  = População da zona i
- $$\begin{split} \textit{METRO}_i &= \begin{cases} 1, \text{ se $h$\'a metro na zona $i$} \\ 0, \text{ se n\~ao } h\'a \text{ metr$\^o$ na zona $i$} \end{cases} \\ \textit{BRT}_i &= \begin{cases} 1, \text{ se $h$\'a metro na zona $i$} \\ 0, \text{ se n\~ao } h\'a \text{ metr\^o na zona $i$} \end{cases} \end{split}$$

É importante salientar que, a fim de não distorcer os valores e conclusões dos diversos indicadores estatísticos, embora tenha sido selecionada uma regressão que contém interceptor, este não foi utilizado para aplicação do modelo, para evitar a existência de quantidade de viagens negativa, o que seria uma incoerência metodológica.

Os resultados estatísticos para essa equação são:

Tabela 9: Resultados da regressão para a origem de viagens

ATRIBUTO	p-valor	t-valor
População	0,0000%	18,2693
Tem estação Metrô	0,0000%	7,5752
Tem estação BRT	0,0042 %	4,2391
Teste F	143,5	
F p-valor	0,0000%	
R <sup>2</sup>	0,769	
Durbin-Watson	1,688	

Fonte: Elaboração própria, 2021.

### 3.2.1.4. DESTINO DAS VIAGENS

Conforme apontando pela pesquisa Origem-Destino, realizada pela Agência Metropolitana em 2012, para as viagens realizadas na RMBH, os principais motivos de viagens são trabalho e estudos. Tendo em conta essa informação, foram analisadas a correlação entre variáveis explicativas coletadas como matrículas em instituições de ensino superior, número de empregos formais, postos de trabalho e densidade de empregos formais.

Em seguida, as combinações entre as variáveis não correlacionáveis foram testadas. Com base em resultados de indicadores de significância estatística (Teste F e F p-valor), no ajuste do modelo estatístico linear (R²) e do coeficiente Durbin-Watson foi escolhido o melhor modelo para regressão. Eventualmente, na análise das regressões, foi permitida a eliminação de outliers, com a finalidade de refinar a aderência do modelo. A retirada de outliers foi restrita à 10 % do total de observações analisadas. Após a avaliação das várias combinações, três zonas do modelo foram desconsideradas, entre elas uma zona em que não havia nenhuma viagem com origem ou destino e outras duas que distorciam o modelo. À exemplo da proposta da regressão do modelo de origem de viagens, a variável qualitativa **presença de estação de metrô** foi incorporada para refinar o modelo.

A forma final da função de regressão para o destino das viagens é:

$$D_i = 0.098 \times EmpFormais_i + 0.182 \times MatriculasIES_i + 5846,772 \times METRO_i + 1117,187$$

#### Onde:

- $D_i$  = número total de viagens de transporte público com destino na zona i no pico manhã
- EmpFormais<sub>i</sub> = empregos formais na zona i
- MatriculasIES<sub>i</sub> = número de matrículas em instituição de ensino superior
- $METRO_i = \begin{cases} 1, & \text{se $h$\'a metro na zona $i$} \\ 0, & \text{se n\~ao $h$\'a metr\^o na zona $i$} \end{cases}$

Com o propósito de não distorcer os valores e conclusões dos diversos indicadores estatísticos, assim como no modelo de origem, o interceptor não foi utilizado para aplicação do modelo.

Os resultados estatísticos para essa equação são:

Tabela 10: Resultados da regressão para a destino de viagens

ATRIBUTO	p-valor	t-valor
Empregos formais	0,0000%	6,2475
Matrículas IES*	0,0000%	6 <b>,</b> 0427
Tem estação Metrô	0,0000%	6,7534
Teste F	47,5	
F p-valor	0,0000 %	
R <sup>2</sup>	0,5287	
Durbin-Watson	1,869	

<sup>\*</sup>Instituições de Ensino Superior

Fonte: Elaboração própria, 2021.

### 3.2.2. PROJEÇÃO DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

As variáveis explicativas dos modelos de regressão linear definidos acima foram projetadas individualmente. A variável "População" e "Matrículas IES" foram projetadas segundo série de projeção oficial do IBGE para a equivalente estratificação da população do Estado de Minas Gerais (projeção até o ano de 2060). Por sua vez, para projeção da variável "Empregos formais", considerou-se a projeção para o PIB nacional do Boletim FOCUS do Banco Central, publicado em 10 de setembro de 2021. Tal projeção restringe-se até o ano de 2024, sendo adotado o último percentual de aumento, equivalente a 2,5 %, de projeção para os demais anos até o final do horizonte de análise.

### 3.2.2.1. PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO

Todas as projeções populacionais preveem uma redução da taxa de crescimento da população brasileira, que poderá começar a diminuir por volta de 2044-2048. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - realiza projeções populacionais para o Brasil e para as Unidades da Federação. As projeções são prospectivas, estimadas por métodos demográficos, com horizonte atual definido até 2060. As populações projetadas são disponibilizadas por sexo e grupos etários, possibilitando análises acerca da evolução do tamanho e idade da população.

O censo demográfico é realizado em todos os municípios brasileiros a cada 10 anos, mas não foi realizado em 2020, em função da pandemia de Covid-19 e ausência de recursos. Dessa forma, dados oficiais da população municipal estão disponíveis apenas para 2000 e 2010. As análises de projeção populacional que se seguiram utilizaram-se, assim, de projeções demográficas do IBGE, bem como da estimativa populacional para 2020 para os setores censitários, cuja metodologia foi descrita no Relatório P6 - Avaliação de Projetos, desenvolvida durante a Etapa 2 do estudo. Ademais, foi calculada uma taxa de crescimento entre os anos

2010-2020 por macrozona para que os dados de população fossem encontrados a partir da interpolação. Essa taxa de crescimento permanece igual em todos os anos.

A definição das taxas de crescimento da "População" por município da RMBH ocorreu a partir da determinação da variação (elasticidade) do crescimento entre as populações totais por município (estimadas pelo IBGE) em relação ao crescimento populacional estimado para Minas Gerais entre os anos de 2011 e 2020. As elasticidades definidas foram aplicadas, assim, às taxas de projeção da população (de acordo com o IBGE). As taxas de projeção da população são apresentadas na Figura 29, a seguir.

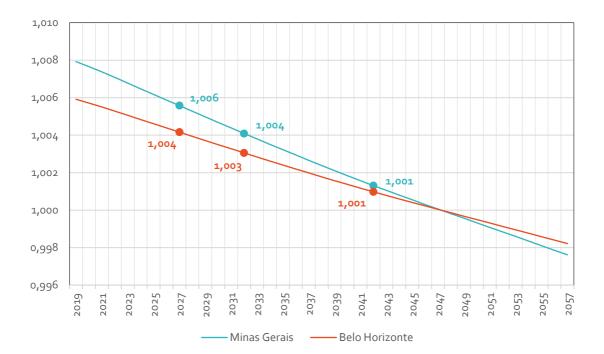


Figura 29: Taxas de projeção da população em Minas Gerais (IBGE) e Belo Horizonte

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Nota-se a redução gradual dos fatores de crescimento ano a ano. O mesmo acontece para a capital Belo Horizonte que pela aplicação da elasticidade calculada, cresce em compasso mais lento que no estado. A partir de 2045 e 2049 essa tendência será revertida, o que representa menores decréscimos populacionais em Belo Horizonte quando comparado com Minas Gerais. Finalizadas a definição e aplicação das taxas de projeção populacionais para os municípios da RMBH, é possível prever, por meio da Figura 30, os valores totais para a variável "População" ao longo de 2019 a 2057.

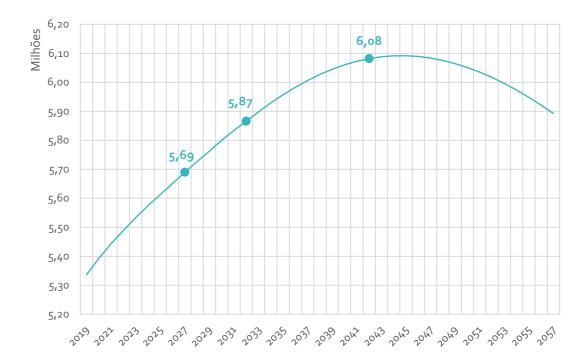


Figura 30: Projeção da variável "População"

### 3.2.2.2. PROJEÇÃO DE MATRÍCULAS

Para a variável "Matrículas IES", que diz respeito às matrículas em instituições de ensino superior, foram determinadas taxas de crescimento a partir das elasticidades da população entre 15 e 39 anos, ou seja, considerando essa a faixa etária em que majoritariamente estão os estudantes universitários. Assim, é possível observar a projeção da variável na Figura 31.

Milhares 

Figura 31: Projeção da variável "Matrículas IES"

### 3.2.2.3. PROJEÇÃO DE EMPREGOS

A obtenção de dados precisos sobre emprego no nível de desagregação do zoneamento é altamente desejável, mas mais desafiadora do que a obtenção de dados populacionais por uma série de razões, incluindo a natureza dinâmica do emprego. Para tanto, foi utilizada a coleta anual de dados do Ministério da Economia, do setor de trabalho, denominada Relação Anual de Informações Sociais - RAIS, que disponibiliza informações de estabelecimentos de setores privado e público. O levantamento dos empregos partiu de um recorte dos estabelecimentos, excluindo aqueles que fossem do setor agropecuário ou estabelecimentos de construção. Em seguida, a partir da informação do CEP dos estabelecimentos (quando disponível), sua localização foi aproximada e vinculada às zonas de transporte, de forma a estabelecer o número total de empregos para cada uma delas. Uma vez estabelecida a distribuição de empregos por zona, esses foram projetados com base na série oficial de projeção do PIB nacional, divulgada no boletim FOCUS, semanalmente, pelo Banco Central. Para tanto, calculou-se a elasticidade emprego-produto, conforme explicado a seguir.

A elasticidade do crescimento do emprego em relação ao crescimento do PIB nacional é calculada para cada município de acordo com a seguinte fórmula:

$$elasticidade = inclina \hat{eao}_{i=2005}^{2018} \left( \log_{10} \frac{PIB \ Real_{i}^{Brasil}}{PIB \ Real_{2005}^{Brasil}}, \log_{10} \frac{Empregos_{i}}{Empregos_{2005}} \right)$$

Esta elasticidade foi calculada sobre o período 2005-2018, para o qual foram levantados dados estatísticos de emprego a nível municipal (banco de dados RAIS). As previsões de emprego a partir de 2019 foram, então, realizadas aplicando esta elasticidade às previsões de crescimento

do PIB brasileiro. Entretanto, a elasticidade varia ao longo dos anos a fim de refletir tendências econômicas de longo prazo e restrições demográficas, o que é feito utilizando uma curva sinusoidal parametrizada por seu valor inicial (elasticidade 2005-2018), valor final e período de transição (10 anos).

Os percentuais de projeção de PIB Brasil (a valores correntes) foram aplicados ao crescimento da variável "Empregos formais". Assim, foi realizada análise das elasticidades emprego-produto para cada município, com intuito de responder como o crescimento dos empregos é influenciado pelo crescimento econômico nacional. Num primeiro momento, então, avaliou-se a evolução dos valores de elasticidade emprego-produto, por município, para intervalos de 5 (cinco) anos, a começar pelo período de 2005 a 2010. A partir daí, avançou-se a série de ano em ano, mantendo-se o intervalo de 5 anos, até o último período entre 2013 e 2018.

Segundo nota técnica do IPEA, denominada "Elasticidade Emprego-Produto no Brasil", existe relação inversa entre a produtividade e a elasticidade emprego-produto, ao passo que, de modo geral, em países desenvolvidos, onde a produtividade é mais elevada, elasticidades emprego-produto são mais baixas. Ainda, segundo análise de valores de elasticidades, associados à variação do PIB (produto) e do emprego, proposta na nota técnica mencionada, o decrescimento das elasticidades são indicativos do aumento da dinamicidade e produtividade das atividades geradoras de emprego na região metropolitana.

A seguir, na Figura 32, são apresentados os resultados projetados dos empregos formais para toda a RMBH a partir da aplicação das elasticidades definidas por município.

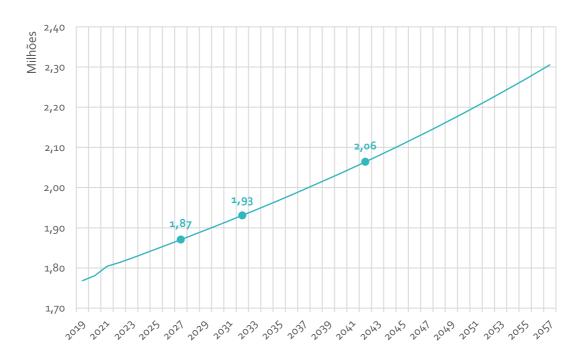


Figura 32: Projeção da variável "Empregos Formais"

Fonte: Elaboração própria, 2021.

### 3.2.3. APLICAÇÃO DA ETAPA DE GERAÇÃO

Uma vez definidos os modelos de regressão, a função de regressão é aplicada para cada zona, utilizando os respectivos valores projetados das variáveis para cada modelo (modelos de regressão de origem e destino), a fim de projetar o total de geração de viagens até o último ano do horizonte do estudo.

Em seguida, as taxas de crescimento obtidas por meio dos modelos de regressão são aplicadas às viagens de origem e destino da matriz OD do ano base (ver item 4.4.1 do Capítulo 4).

Finalmente, o número de viagens de destino é ajustado para que seu total seja igual ao número total de viagens de origem, em cada ano da previsão. Normalmente, os destinos de viagem são ajustados em relação às origens, devido à maior confiabilidade das informações de população, tornando o modelo de origens mais robusto que do que modelo de destinos.

A partir da projeção de variáveis explicativas, aplica-se o modelo de geração e se obtém os totais de origens e destinos de cada horizonte. Esses totais, para cada horizonte de análise, são apresentados no gráfico da Figura 33.

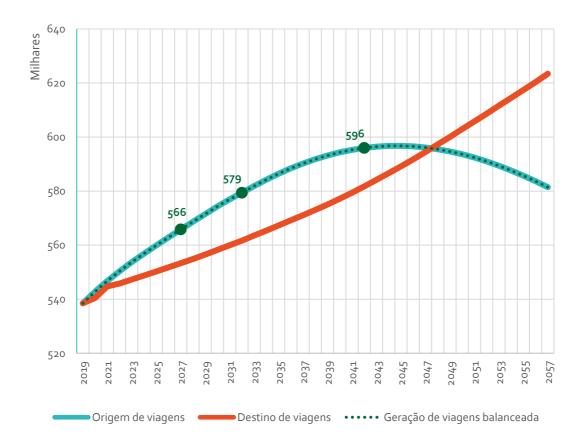


Figura 33: Ajuste final do modelo de geração

Fonte: Elaboração própria, 2021.

# 3.3. ETAPA DE DISTRIBUIÇÃO

A segunda etapa do processo de modelagem possui a função de quantificar e distribuir os fluxos de viagens por pares de zonas (origem e destino) a partir do balanceamento dos resultados de totais de viagens originadas e destinadas à cada zona, determinados na etapa de geração de viagens. A distribuição das viagens requer variáveis explicativas que estão relacionadas à impedância (geralmente uma função do tempo e/ou custo da viagem) da viagem entre zonas, assim como a relação de viagens originadas e destinadas por zonas de origem e zonas de destino, respectivamente.

A metodologia escolhida para a distribuição das viagens foi o modelo Fratar, que trata a impedância entre pares não por características da rede, e sim a partir de uma matriz semente. O modelo tem como premissa que a distribuição de viagens futuras de uma dada zona de origem é proporcional à distribuição de viagens existentes na zona e que a distribuição destas viagens futuras é modificada pelo fator de crescimento da zona a qual as viagens são destinadas.

Assim, o método considera a localização de uma zona em relação às demais, estimando o número total de viagens que se originam e se destinam em cada zona no ano projetado e a distribuição das viagens futuras (segundo proporção da distribuição atual de viagens modificada pelo fator de crescimento da zona para qual as viagens são atraídas). Dessa maneira, são produzidos dois valores distintos para cada sentido do movimento entre zonas (A>B para B>A), sendo utilizada a média entre os dois volumes.

O processo de cálculo é iterativo até que haja um equilíbrio entre as viagens calculadas e desejadas. Na primeira iteração, as estimativas de viagens interzonas são distribuídas na proporção dos volumes interzonas existentes. A partir do novo valor, obtém-se um novo fator de crescimento que é aplicado para o cálculo da segunda aproximação, e assim sucessivamente.

A formulação matemática do método de distribuição Fratar é apresentada a seguir:

$$T_{i-j} = \frac{T_{i(G)} * T_{i-j} * E_j}{t_{i-j} * E_j + t_{i-k} * E_k + \dots + t_{i-n} * E_n}$$

onde:

 $T_{i-j}$  = número de viagens previstas da zona i para a zona j;

 $T_{i(G)}$  = número de viagens esperadas, geradas na zona i;

 $t_{i-j},\ldots,t_{i-n}$  = número existente de viagens entre as zonas i e todas as outras zonas  $i\ldots n_i$  e

 $E_i \dots E_n$  = fatores de crescimento de cada zona  $i \dots n$ .

# 3.4. ETAPA DE MIGRAÇÃO

O modelo de divisão modal tem como objetivo determinar a probabilidade de escolha dos usuários diante das alternativas de transportes disponíveis na área em estudo. A abordagem do modelo é baseada no conceito de utilidade da teoria do comportamento do consumidor. O

processo de decisão considera três fatores: 1) as características dos sistemas de transportes (tempo de viagem, custo, conforto etc.); 2) as características das viagens (motivo, período de realização da viagem etc.) e 3) o nível socioeconômico do consumidor (renda, estrutura domiciliar, propriedade de veículos etc.). Logo, as pessoas, diante da necessidade de deslocarse no espaço e no tempo, escolhem dentre as alternativas possíveis aquela cujos atributos lhe proporcionem o maior nível de satisfação, ou seja, a alternativa com maior utilidade. Torna-se importante avaliar as variáveis que influenciam na escolha do modo de transporte, como o tempo de viagem, o tempo de acesso ao modo, o custo do modo, dentre outras. Além disso, é preciso avaliar quais são os efeitos esperados para cada variável: utilidade ou "desutilidade". O conceito de "desutilidade" vem do fato de uma variável como tempo de viagem afetar negativamente a utilidade de uma alternativa de transporte.

Para a etapa de divisão modal foi utilizado o software TransCAD®, que utiliza ferramentas de escolha modal baseadas nos modelos Logit. O modelo Logit relaciona a probabilidade de decisão de um indivíduo em escolher uma alternativa dentro de um conjunto de alternativas disponíveis, dada a utilidade dessa alternativa para o mesmo indivíduo. Este modelo determina a proporção de viagens que caberá a cada modo específico k de acordo com a seguinte expressão:

$$P(k) = \frac{e^{U_k}}{\sum_X e^{U_X}}$$

Onde:

P(k): probabilidade de escolha do modo k;

k: um modo de transporte;

x: são todos os modos concorrentes; e,

 $U_k$ : utilidade do modo x.

A utilidade é dada pelo valor alocado por um indivíduo a um serviço (ou atributo) ou a um produto, e só se torna significativa quando comparada com valores de outras opções. Esta medida quantitativa se formaliza por meio de uma função matemática chamada de função utilidade. A função utilidade é vinculada a uma série de atributos que são os elementos que fazem parte de todo desenvolvimento do processo estudado, no caso o transporte. A configuração mais comum para a função utilidade é uma função linear, em que os atributos se combinam de forma aditiva:

$$U_i = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_n X_n$$

Onde:

 $U_i$ : utilidade da opção "i";

 $X_1, X_2, ..., X_n$ : são as variáveis de serviço (atributos);

 $a_1, a_2, ..., a_n$ : são os coeficientes do modelo; e,

 $a_0$ : componente (constante) aleatória.

O modelo de divisão modal utilizado no trabalho se refere ao "Nested Logit Model", no qual as escolhas feitas pelos usuários são realizadas de forma sequencial e, assim, a decisão de qual modo de transporte utilizar em dado par de origem e destino é racionalizada por meio de uma árvore de decisão (Figura 34). Na primeira fase do modelo, denominada de calibração,

considerou-se duas alternativas de transporte disponíveis atualmente na área de estudo: individual ou coletivo. Volta-se então ao caso particular do Nested Logit denominado Logit Multinomial, onde não são feitas agregações em nichos para os modos de transporte.

Figura 34: Árvore de decisão esquemática do modelo de migração



Fonte: Elaboração própria, 2021.

## 3.5. ETAPA DE ALOCAÇÃO

A alocação de viagens de transporte coletivo trata do encaminhamento de viagens de passageiros interligadas (incluindo acesso e saída a pé) por meio da rede de transporte público disponível. Ou seja, é a etapa em que se determinam quais caminhos as viagens entre cada par OD irão utilizar. É um elemento chave no processo de previsão da demanda de viagens urbanas. O modelo de alocação de transporte coletivo prevê os fluxos da rede que estão associados com os cenários de planejamento futuro. Esta etapa é conduzida através do software TransCAD®. A metodologia e os detalhes do modelo de alocação estão descritos no item 4.3 do capítulo 4.

As seguintes saídas são geradas no processo de alocação:

- Número de embarques e desembarques em cada estação de transporte e terminais (Boarding Counts);
- Carregamento das linhas (Transit Flows);
- Carregamento dos links da rede viária (Aggregated flows); e,
- Indicadores de desempenho entre pares OD (Skim Matrix).

# 4. MODELO DE SIMULAÇÃO

Este item detalha os aspectos considerados para a construção e calibração do modelo de simulação utilizado.

### 4.1. ZONAS DE TRANSPORTE

Como citado anteriormente, o zoneamento utilizado no modelo de simulação é composto por 1002 zonas, que são agregações dos setores censitários do censo demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. A descrição desse zoneamento foi realizada no item 2.2 do Capítulo 3.

Esse zoneamento atende às necessidades do modelo, tendo em vista principalmente a disponibilidade de dados socioeconômicos ao nível zonal e por representar, de uma maneira satisfatória, as características administrativas, geográficas e de demanda da RMBH. Nota-se que o zoneamento tem um caráter mais fino em zonas de grande demanda de transporte e de maior densidade populacional, tais como as zonas centrais de Belo Horizonte, em comparação com zonas mais periféricas.

Cada zona é representada, na rede de simulação, por um centroide, que são pontos geográficos que correspondem ao local de entrada na rede de simulação das viagens geradas pelas respectivas zonas, conforme a Figura 34.

Os centroides são conectados à rede viária por meio dos conectores. A maneira como essa ligação é realizada depende da oferta de transporte público da área. Assim, dois ou mais conectores foram criados para uma mesma zona, devido à existência de mais de um vetor de acesso aos centros de emprego da região metropolitana.

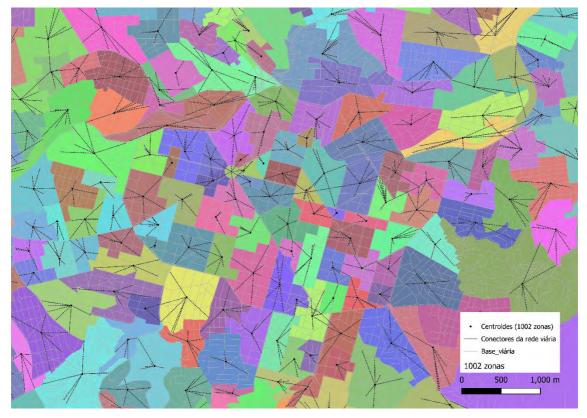


Figura 34: Centroides e conectores do zoneamento da RMBH (1002 zonas)

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO

Um modelo consiste na representação de um sistema real, por meio de um conjunto de condições operacionais e hipóteses simplificadoras, que simbolizam comportamento e disposição do sistema correspondente. Portanto, por meio da modelagem é possível descrever o comportamento de um sistema, com a utilização de um modelo que imite as respostas do sistema real em uma sucessão de eventos no decorrer do tempo. O Anexo 11.1 sintetiza os dados de entrada utilizados na construção da rede de simulação.

Os principais componentes da rede de simulação são descritos a seguir:

- Base viária: rede suporte da rede de linhas de transporte coletivo e dos deslocamentos a pé e/ou motorizados. No contexto de um modelo de simulação de transporte público, faz-se necessário incluir também todos as vias para pedestres (passarelas e ruas exclusivas) relevantes para o acesso à rede de transporte público.
- Centroides e conectores: como visto anteriormente, os centroides são pontos geográficos que representam o ponto de entrada e saída de todas as viagens produzidas ou atraídas por uma zona. A ligação dos centroides à rede de simulação é realizada por conectores, que são acessos virtuais representados dentro da base viária.

 Rede de transporte público: constitui todo o sistema de transporte público da área de estudo, composto por linhas de transporte, paradas de embarque e desembarque, estações e terminais. No contexto do presente estudo, a rede de simulação contempla todas das redes de transporte coletivo municipais (Belo Horizonte, Contagem, Betim, Santa Luzia e Ibirité), a rede metropolitana da SEINFRA e o metrô operado pela CBTU.

Para a simulação adequada da oferta de transporte do ano de referência (2019), foram coletados atributos relativos ao serviço realizado pela rede de transporte público, considerando o período de 5:00 à 7:59 (período de pico da manhã):

- Headway (intervalo): intervalo médio, em minutos, entre duas partidas consecutivas de uma mesma linha. É calculado como o inverso da frequência de serviço de uma linha para o período considerado;
- Capacidade do veículo;
- Capacidade média da linha: número total de passageiros que podem ser transportados por uma linha para o período considerado. É calculado pelo produto entre o número de partidas pela capacidade do veículo; e,
- Tarifa: tarifas unitárias e com integração para uma linha.

O sistema tarifário do transporte coletivo de Belo Horizonte apresenta um total de 40 tarifas diferentes, além de uma grande variedade de regras de integração tarifária, a depender do sistema. Para o processo de calibração e simulações do presente estudo foi considerada a política tarifária em vigor em novembro de 2019, ano de referência de construção do modelo.

O levantamento das regras de integração tarifária foi realizado para cada um dos sistemas de transporte da RMBH (CBTU, SEINFRA, BHTRANS, TRANSCON, TRANSBETIM, IBIRITRANS e SANTALUZIA). A integração desses dados no modelo de simulação é realizada pela *Mode Transfer Table*, que sintetiza todas as regras de integração tarifária entre cada modo de transporte da rede.

## 4.3. MODELO DE ALOCAÇÃO

## 4.3.1. MÉTODO DE ALOCAÇÃO

O *Pathfinder* é um dos principais métodos de alocação que considera a tarifa como um fator determinante para escolha dos melhores caminhos. Além da tarifa, o valor do tempo também é um parâmetro considerado na escolha dos caminhos, e é associado à tarifa por meio da conversão do tempo em dinheiro. Ambas as variáveis compõem o custo generalizado dos itinerários possíveis para cada par OD e a alocação dos fluxos de passageiros se dá por meio da minimização desse custo. O custo generalizado é dado por:

$$CG = \sum_{i} F_{i} + VOT \times \left( \sum_{j} W_{j} t_{j} + \sum_{k} P_{k} \right)$$

#### Onde:

- CG é o custo generalizado, variável que deve ser minimizada durante a alocação;
- $F_i$  são as tarifas pagas nas linhas de transporte coletivo, incluindo os eventuais descontos tarifários em integrações;
- VOT corresponde ao valor do tempo;
- $t_i$  são os tempos de cada trecho da viagem e  $W_i$  seus respectivos pesos, sendo esses:
  - tempo de acesso: trecho percorrido a pé entre o ponto de origem da viagem (representado pelo centroide da zona de origem) e o primeiro embarque em uma linha de transporte coletivo;
  - o tempo de espera, no ponto de ônibus ou plataforma da estação de metrô;
  - o tempo a bordo da linha de transporte coletivo (que inclui tempo em circulação e tempo de parada);
  - o tempo de transbordo: trecho percorrido a pé para realizar integração entre duas linhas de transporte coletivo, entre o desembarque da primeira e a espera pela segunda; e
  - o tempo de egresso: trecho entre o último desembarque e o ponto final da viagem, representado pelo centroide da zona de destino.
- $P_k$  são as penalidades eventualmente aplicadas ao cálculo do custo generalizado, em função do número de transbordos, de determinados embarques e desembarques etc.

A utilização das tarifas é importante no modelo de alocação uma vez que possui grande influência na escolha das rotas e modos de transporte. Assim, a alocação também se torna uma ferramenta valiosa em estudos econômicos, em que é essencial o entendimento de como a receita e a escolha de linhas pode variar em função da alteração de tarifa.

No presente trabalho, o método de alocação utilizado nas simulações de demanda de transporte coletivo foi o Equilibrium Pathfinder. Esse é uma extensão do Pathfinder, que considera a capacidade dos veículos de transporte como uma variável. Esses valores são inseridos nas rotas para restringir o fluxo de forma que haja uma percepção, por parte do usuário, de que a linha possui utilização em relação à sua capacidade, e esta utilização influa na decisão do usuário de qual linha utilizar.

Portanto, no método de alocação utilizado, a cada iteração o volume alocado é comparado à capacidade das rotas. As penalidades são adicionadas de acordo com uma função genérica de atraso, com base na relação volume/capacidade (V/C). Em seguida são realizadas novas atribuições de caminho, em que os maiores custos são usados como insumos na sequência de iterações, obtendo-se um novo conjunto de valores.

#### 4.3.2. VALOR DO TEMPO

O valor do tempo, expresso em R\$/min, é um dos parâmetros considerados no cálculo do custo generalizado no processo de alocação das viagens. Esse parâmetro é de suma importância para

o modelo, pois ele permite converter os tempos em valor monetário e comparar opções de itinerário que possuem tarifas e tempos diferentes.

O cálculo é pautado no salário mínimo nacional de 2019 e nos resultados da Pesquisa Origem-Destino da RMBH de 2012.

De acordo com a pesquisa OD 2012, a faixa de renda média dos usuários de transporte coletivo é de 1,5 salários mínimos, isto é, R\$1.497,00 por mês. Esse valor é convertido para minutos com base em uma jornada de trabalho de 176 horas por mês, resultando em um valor do tempo de 0,1418 R\$/min para os usuários de transporte público da RMBH.

### 4.3.3. RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE

Como abordado no item 4.3.1, a alocação de demanda de transporte coletivo na rede de transporte é realizada no software de simulação TransCAD®, por meio do método Equilibrium Pathfinder, que permite definir diferentes restrições de capacidade. Essas restrições traduzem como atraso os efeitos que a saturação das linhas de transporte público pode causar na forma como os passageiros percebem sua viagem:

- Redução do conforto do passageiro devido à crescente ocupação do veículo;
- Aumento do tempo de permanência a bordo do veículo em função do congestionamento;
   e,
- A possibilidade de um usuário não embarcar em um veículo devido à restrição da capacidade.

Esse procedimento de alocação é um processo iterativo: a cada iteração, o custo generalizado das alternativas para o deslocamento dos fluxos é recalculado por meio da função de atraso (nesse caso adota-se a BPR Function, do nome do Bureau of Public Roads, dos Estados Unidos), que aplica uma penalidade em função da lotação de cada linha de transporte coletivo:

$$t = t_{0} \times f\left(\frac{Vol}{Cap}\right) = t_{0} \times \left(1 + \alpha \times \left(\frac{Vol}{Cap}\right)^{\beta}\right)$$

Onde:

t = tempo de viagem do link congestionado;

 $t_0$  = tempo de viagem do link quando a linha de transporte público está vazia (equivalente ao fluxo livre);

Vol = volume de passageiros que transitam pelo link no período da simulação; e,

Cap = capacidade do link no período da simulação (passageiros por unidade de tempo).

No contexto do presente estudo, os valores padrão dos parâmetros  $\alpha$  = 0,15 e  $\beta$ =4,0 foram mantidos.

## 4.4. CALIBRAÇÃO DO MODELO

O processo de calibração do modelo consiste na busca de uma configuração de cenários de simulação cujos resultados de alocação se aproximem dos observados na realidade. Tendo isso em vista, os dados de referência adotados se baseiam nos dados de bilhetagem eletrônica referentes aos embarques em terminais e estações de metrô (diretos e transferidos). Desse modo, os tópicos a seguir empenham-se em detalhar a metodologia e processo de calibração adotados, bem como a avaliação da qualidade dos resultados obtidos em comparação com os dados de referência.

### 4.4.1. MATRIZ DO ANO BASE (2019)

A matriz de referência adotada para construção da demanda de transporte é a matriz origemdestino de bilhetagem eletrônica do ano de 2019, cuja metodologia de construção foi apresentada no item 2.3 do Capítulo 2.

Essa base de dados possui a vantagem de ser uma amostra bastante representativa da demanda de usuários da rede de transporte público. Os dados utilizados são de um dia útil anterior à pandemia de Covid-19, que teve um impacto relevante sobre a demanda de deslocamentos.

## 4.4.2. METODOLOGIA DE CALIBRAÇÃO

Como citado anteriormente, o objeto principal de calibração do modelo foi a quantidade de embarques (diretos e transferidos) nas estações de metrô da Linha 1 e de terminais de ônibus durante um período de três horas do pico-manhã, compreendido entre 5hoo e 7h59.

As principais ferramentas de modelagem utilizadas para a calibração são as penalidades em no que diz respeito ao tempo ou ao custo, sendo possível ajustar a sensibilidade do modelo de uma forma mais geral, seja por penalidades por modos ou linhas ou de forma mais minuciosa, com penalidades em pontos de parada, terminais e transbordo. Para atingir um nível satisfatório de calibração, ajustaram-se os seguintes parâmetros:

- Penalidades de tempo relacionadas ao embarque inicial em cada terminal e estação;
- Penalidades de tempo relacionadas às transferências em cada terminal e estação;
- Número de conectores de alguns terminais e estações com as zonas adjacentes, a fim de melhor representar a área de influência da estação, em particular para bilhetagens diretas; e,
- Fatores de caminhada em torno de estações e terminais.

Os resultados obtidos ao final do processo de calibração são detalhados nos itens 4.4.3 e 4.4.4. Os resultados são considerados satisfatórios se a diferença percentual entre os embarques modelados e observados não ultrapassam 15 %.

É importante notar que existem limitações quanto à calibração de transferências no caso de passagens pagas em dinheiro, em razão da impossibilidade de identificar o trajeto completo do usuário. Nesse caso, todos os pagamentos em dinheiro efetuados na estação ou no terminal são considerados como primeira validação do usuário (embarque direto).

## 4.4.3. CALIBRAÇÃO DE TERMINAIS

Os resultados obtidos para embarques diretos e transferidos em terminais após a aplicação das penalidades acima são apresentados na Figura 35 e detalhados na Tabela 8. Observa-se que os resultados são globalmente satisfatórios, com uma diferença percentual entre transferências observadas e modeladas abaixo do limite de 15 %.

Os valores modelados para total de embarques em terminais são próximos dos valores observados, com uma diferença percentual média de 3,7 %. No caso de transferências, a diferença média é de 4,8 %, maior que para embarques diretos, cuja diferença média é de 1,8 %. Isso porque, as transferências dependem de um maior número de variáveis no modelo, o que impacta diretamente os resultados de calibração.

Observa-se também que apenas o terminal Barreiro não se ateve ao limite de calibração de 15 %, exclusivamente para o caso de transferências. Contudo, a calibração foi adotada tendo em vista os resultados satisfatórios para embarques diretos e totais deste terminal.

25 Milhares 20 15 10 5 lustinópolis Morro Alto Barreiro São Benedito Diamante Pampulha São Gabriel Venda Nova Vilarinho Direto Observado ■ Transferidos Observado ■Direto Modelado Transferidos Modelado

Figura 35: Comparação dos embarques diretos e transferidos em terminais com os dados de referência (de 5h00 as 7h59)

Tabela 11: Comparação dos embarques diretos e transferidos em terminais com os dados de referência (de 5h00 as 7h59)

Gestor	Terminal	Direto			Transferido				Total				
		Observado	Modelado	Diferença	Percentual	Observado	Modelado	Diferença	Percentual	Observado	Modelado	Diferença	Percentual
	Ibirité	548	540	-8	-1,5%	2.067	2.041	-26	-1,3%	2.614	2.580	-34	-1,3 %
≾	Justinópolis	1.584	1.539	-45	-2,8%	7.213	6.309	-904	-12,5%	8.798	7.849	-949	-10,8 %
SEINFRA	Morro Alto	1.320	1.315	-5	-0,3 %	5.904	5.826	-78	-1,3%	7.224	7.142	-82	-1,1 %
SEI	São Benedito	2.933	2.917	-16	-0,5%	6.375	5.897	-478	-7,5%	9.309	8.815	-494	-5,3 %
	Sarzedo	575	562	-13	-2,3 %	923	996	73	7,9%	1.498	1.558	59	4,0%
	Barreiro	2.220	2.166	-53	-2,4%	2.685	2.186	-499	-18,6 %	4.905	4.353	-552	-11,3 %
S	Diamante	5.491	5.362	-129	-2,3%	2.940	3.254	314	10,7%	8.431	8.616	185	2,2 %
× S N	Pampulha	8.787	8.697	-90	-1,0 %	11.587	11.648	62	0,5%	20.374	20.345	-29	-0,1 %
BHTRANS	São Gabriel	5.163	5.028	-134	-2,6%	9.827	9.475	-352	-3,6%	14.989	14.503	-486	-3,2 %
	Venda Nova	5.322	5.319	-3	-0,1 %	3.529	3.034	-495	-14,0 %	8.851	8.353	-498	-5,6 %
	Vilarinho	5.7 <del>1</del> 7	5.484	-233	-4,1 %	4.375	3.975	-400	-9,1 %	10.092	9.460	-633	-6,3 %

## 4.4.4. CALIBRAÇÃO DE ESTAÇÕES DO METRÔ

Os resultados obtidos para embarques diretos e transferidos em estações após a aplicação das penalidades são apresentados na Figura 36 e detalhados na Tabela 12. Diferentemente dos terminais de ônibus, a diferença entre o número de transferências modeladas e observadas não é sistematicamente inferior a 15 %. Isso se deve ao fato que o número de passageiros realizando transbordos nas estações é muito pequeno, o que dificulta a calibração dos resultados. Tendo em vista o impacto reduzido dessas transferências nos resultados globais do modelo e da calibração, os resultados podem ser considerados satisfatórios.

Os valores modelados para embarques totais em estações do metrô são próximos dos observados, com uma diferença percentual de apenas 0,9 % para toda a Linha 1. Assim como no caso dos terminais, a diferença para transferências é de 1,3 %, maior que para embarques diretos, cuja diferença é de apenas 0,8 %.

Figura 36: Comparação dos embarques diretos e transferidos em estações de metrô com os dados de referência (de 5h00 as 7h59)

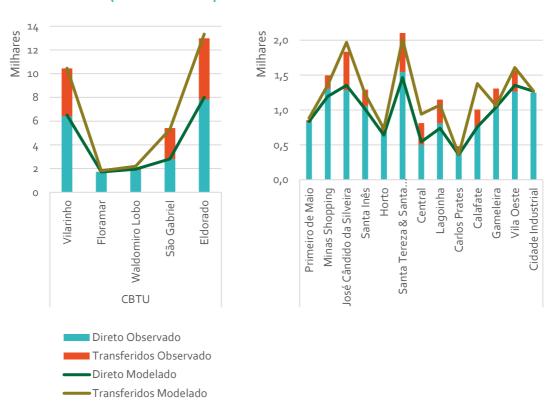


Tabela 12: Comparação dos embarques diretos e transferidos em estações de metrô com os dados de referência (de 5h00 as 7h59)

	Direto				Transferido				Total			
Estação	Observado	Modelado	Diferença	Percentual	Observado		Diferença	Percentual	Observado	Modelado	Diferença	Percentual
Vilarinho	6.404	6.504	100	1,6%	4.039	3.958	-81	-2,0%	10.443	10.462	19	0,2 %
Floramar	1.691	1.717	26	1,6%	38	98	60	159,1%	1.729	1.815	86	5,0 %
Waldomiro Lobo	1.850	1.950	100	5,4%	207	240	33	15,9%	2.057	2.190	133	6,5%
Primeiro de Maio	828	836	8	1,0 %	26	46	20	78,4 %	853	882	29	3,3 %
São Gabriel	2.812	2.814	2	0,1 %	2.604	2.495	-109	-4,2%	5.416	5.309	-108	-2,0 %
Minas Shopping	1.304	1.194	-109	-8,4%	191	163	-27	-14,4%	1.494	1.357	-137	-9,2 %
José Cândido da Silveira	1.281	1.352	71	5,6 %	555	617	62	11,2 %	1.836	1.970	134	7,3 %
Santa Inês	1.056	1.013	-43	-4,1%	235	217	-18	-7,7%	1.291	1.230	-61	-4,7%
Horto	687	640	-47	-6,9%	75	91	16	21,6%	762	731	-31	-4,1%
Santa Tereza & Santa Efigênia	1.544	1.463	-81	-5,2 %	560	552	-8	-1,4 %	2.104	2.015	-89	-4,2 %
Central	503	543	40	7,9%	309	398	89	29,0%	812	941	129	15,9%
Lagoinha	807	739	-68	-8,4%	341	331	-10	-2,9%	1.148	1.070	-78	-6,8%
Carlos Prates	388	358	-30	-7,8 %	94	3	-91	-97,0%	482	361	-121	-25,2 %
Calafate	764	757	-7	-0,9%	243	620	377	155,5%	1.007	1.377	370	<b>36,8</b> %
Gameleira	1.044	1.039	-5	-0,4%	264	21	-243	-91,9 %	1.308	1.061	-247	-18,9 %
Vila Oeste	1.263	1.353	90	7,1%	296	255	-41	-13,9 %	1.559	1.608	49	3,1 %
Cidade Industrial	1.247	1.267	20	1,6%	2	4	2	87,5%	1.249	1.271	22	1,8%
Eldorado	7.817	8.004	187	2,4 %	5.169	5.334	165	3,2 %	12.986	13.338	352	2,7 %
TOTAL	33.290	33-544	254	0,8%	15.247	15.444	197	1,3%	48.537	48.988	451	0,9%

## 5. REDES FUTURAS

A definição da rede prioritária teve início ainda na Etapa 1 do estudo, quando foi realizado um abrangente levantamento, junto aos órgãos responsáveis pela gestão da mobilidade na RMBH, dos projetos existentes na RMBH<sup>8</sup>. Essa atividade foi continuada na Etapa 2, por meio da Avaliação de Projetos, que consistiu em uma análise multicritério com a participação de vários setores das esferas pública e da sociedade civil organizada, em reuniões realizadas no âmbito do CTMob, resultando em um ranking dos projetos avaliados. Nesse contexto, a Etapa 3 consolida as atividades desenvolvidas nas duas Etapas anteriores, selecionando projetos para integrar a rede futura e, quando necessário, adaptando-os e modificando-os. Esse não foi um processo linear, mas cíclico e complexo, envolvendo tomada de decisões, discussões com os atores-chave para o planejamento da mobilidade na RMBH, modelagem de transportes e análises de resultados. Assim, a construção das redes futuras compreendeu:

- Avaliação dos projetos estruturantes e suas complementações: avaliar os projetos que atendam aos critérios de seleção definidos (técnicos, econômico-financeiros, sociais, urbanísticos e ambientais), bem como os projetos sinérgicos e/ou incompatíveis a eles;
- Adaptação dos projetos ao contexto de demanda e da rede integrada;
- Identificação de lacunas para as quais se identificou a necessidade de projetos específicos;
   e.
- Definição dos cenários de implantação e da distribuição temporal dos projetos, de acordo com as projeções de demanda e cronograma dos projetos estruturantes.

## 5.1. CESTAS DE PROJETOS

Com o objetivo de avaliar a sinergia entre os projetos e planejar a rede futura de forma estratégica, foram propostas duas cestas de projetos.

A metodologia para definição das cestas de projetos envolveu a classificação dos projetos avaliados na Etapa 2 sob a ótica de rede de transporte em dois grupos: projetos estruturantes, envolvendo eixos de transporte de massa; e, projetos complementares, envolvendo a rede alimentadora. Os projetos complementares foram subclassificados em metropolitano ou municipal, de acordo com sua abrangência. Foram identificados dois grupos de projetos estruturantes, de curto e longo prazo, sendo os projetos estruturantes de curto prazo aqueles para os quais já estão previstos recursos orçamentários. Os terminais e estações receberam

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> A maioria dos projetos do PlanMob BH e Plano Diretor de Belo Horizonte estão contemplados na rede futura estudada no âmbito desse estudo. Contudo, alguns projetos não foram considerados, pois foram avaliados como projetos de âmbito municipal e que teriam pouco impacto nas simulações da rede metropolitana.

classificações distintas de acordo a relação identificada entre estes e os eixos de transporte. (Figura 37).

Impacto E1 metropolitano Curto Prazo **PROJETOS ESTRUTURANTES** Impacto E2 Eixos de transporte de massa metropolitano Metrô/BRT Longo Prazo Impacto CA metropolitano **PROJETOS** Extensões estruturantes (Metrô/BRT) COMPLEMENTARES CB Rede alimentadora municipal BRS/ Faixas exclusivas

Figura 37: Metodologia para a definição das cestas de projetos - Classificação

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Em seguida, os projetos complementares foram agrupados aos projetos estruturantes por sinergia e integração, em uma análise majoritariamente espacial. Assim, os projetos estruturantes orientaram a definição das cestas, uma vez que os projetos complementares estão associados a estes. (Figura 38).

Figura 38: Metodologia para a definição das cestas de projetos - Agrupamento



Fonte: Elaboração própria, 2021.

#### CESTA 1

Estruturada por projetos metropolitanos que estão previstos no horizonte de curto prazo: Linha 1 do Metrô (Extensão e Melhorias), Linha 2 do Metrô (Barreiro-Nova Suíssa) e BRS Corredor Amazonas. É complementada por projetos sinérgicos e que se integram a estes, tais como BRS Corredor Sudoeste, Terminal Cid. Industrial, Linha A (PEF), Terminal Betim, BRT/BRS Corredor Norte-Sul (Contagem), BRS Corredor Leste-Oeste (Contagem), BRS Corredor Ressaca (Contagem), Terminal Darcy Ribeiro (Contagem), entre outros.

#### CESTA 2

Estruturada por projetos metropolitanos que estão previstos nos horizontes de médio e longo prazo: Linha 2 do Metrô (extensão até Santa Tereza), Linha 3 do Metrô (Pampulha-Morro do Papagaio) e Metrô Leve. É complementada por projetos sinérgicos e que se integram a estes, tais como Linhas B e C (PEF), Terminal Jardim Colonial, Terminal Nova Lima, entre outros.

A Figura 39 apresenta a classificação dos projetos de acordo com as cestas definidas. Assim, é possível notar que os projetos da Cesta 1 se concentram na região Oeste e Noroeste da RMBH, principalmente, enquanto os projetos da Cesta 2 conectam as regiões Norte e Sul da RMBH e Noroeste de Belo Horizonte. Justifica-se a composição da Cesta 1 por representar os vetores da RMBH que não recebiam investimentos em infraestrutura de mobilidade há muito tempo e, portanto, estarem posicionados entre os serviços de transporte de menor produtividade da RMBH. Ademais, como a Cesta 1 é estruturada por projetos metropolitanos previstos no curto prazo, é natural que a maioria dos projetos desta cesta esteja incorporada no horizonte 2027, conforme apresentado no item 5.5.

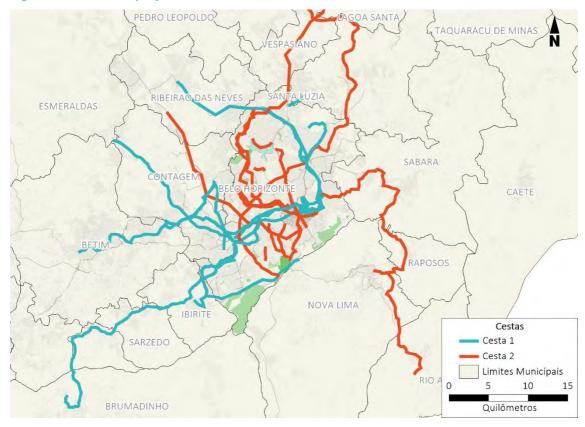


Figura 39: Cestas de projetos

Fonte: Elaboração própria, 2021.

A análise das cestas de projetos deu início à definição dos cenários de redes futuras no âmbito da Etapa 3. Em seguida, novos projetos foram incorporados à rede de transporte da RMBH, conforme detalhado no item 5.4.

# 5.2. PROJETOS NÃO PRIORIZADOS NO ÂMBITO DO TRANSPORTE COLETIVO

Alguns projetos avaliados na Etapa 2 não foram considerados na Etapa 3 por não preverem a implantação de infraestrutura destinada à circulação do transporte público coletivo ou por estarem sobrepostos a outras infraestruturas que obtiveram uma melhor pontuação por meio da avaliação multicritério desenvolvida. Os projetos não priorizados são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Projetos não priorizados no âmbito do transporte coletivo

Posição	Código	Nome Do Projeto	Extensão (Km)	Fonte
20 <sup>0</sup>	Po6	Linha Norte-Sul (Vila da Serra- Aeroporto de Confins)	43	PDDI, 2011
26°	Po9	Linha Vila da Serra-Santa Luzia	48	PDDI, 2011
31°	Po <sub>7</sub>	Linha Leste-Oeste (Betim-Sabará)	44	PDDI, 2011
36°	P <sub>3</sub> 8	Linha 4 do Metrô da RMBH (Eldorado-Betim)	23	Projetos Funcional e Básico da Linha 4 do Metrô da RMBH, 2017
45°	P40	Melhorias no Anel Rodoviário	70	-
44°	P15	Rodoanel - Alça Oeste	69	
46°	P17	Rodoanel - Alça Sudoeste	30	Projeto do Rodoanel
48°	P16	Rodoanel - Alça Norte	101	Metropolitano da RMBH, 2020
51°	P18	Rodoanel - Alça Sul	36	
49°	P42	Acesso Sabará - Ramal Leste	13	Plano de Mobilidade de Nova Lima, 2017
50°	P19	Ligação região sul da RMBH ao Aeroporto de Confins	118	PDDI, 2011

Fonte: elaboração própria, 2021.

A Figura 40 apresenta a localização dos projetos não priorizados. Os projetos ferroviários são representados com linhas tracejadas e os projetos rodoviários são aqueles representados com linhas contínuas.

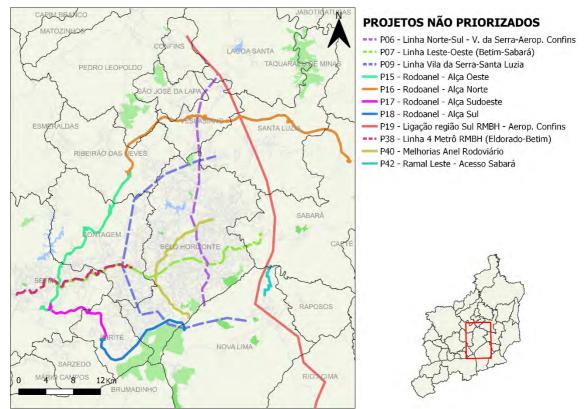


Figura 40: Projetos não priorizados

#### 5.2.1. RODOANEL METROPOLITANO

A conurbação da capital Belo Horizonte com os municípios limítrofes e a expansão da mancha urbana da RMBH fazem com que o existente Anel Rodoviário seja utilizado não somente pelo tráfego rodoviário, mas principalmente por veículos em deslocamentos urbanos. Assim, o Anel Rodoviário já se encontra operando próximo ao limite de sua capacidade, durante os horários de pico, apresentando congestionamentos em diferentes trechos e com elevado número de acidentes. Nesse sentido, a construção de um eixo viário que circunde perifericamente a RMBH é essencial e está em discussão há mais de 20 anos. O objetivo principal é atrair parte dos veículos em deslocamentos de longa distância, principalmente de carga, que trafegam atualmente pelo Anel Rodoviário e pela área urbana de Belo Horizonte, oferecendo um sistema viário de trânsito rápido, com acessos limitados e em desnível, conectando as principais rodovias que circundam a RMBH.

O Rodoanel Metropolitano foi avaliado na análise multicritério apresentada da Etapa 2 como um projeto viário para o qual não se prevê a implantação de corredores de ônibus de alta capacidade. Esta característica considerou as definições do Processo para Concessão do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Assim, apesar de sua inegável relevância para a promoção de melhorias no tráfego urbano da RMBH, este projeto não se constitui, dentro dos horizontes de projeto da presente versão do PlanMob RMBH, como um eixo estruturador do transporte público coletivo, embora, quando implantado, possa receber algumas linhas de ônibus, como já acontece nas rodovias existentes na área metropolitana. Por

esse motivo, optou-se por não incluir o Rodoanel na categoria de infraestrutura de transporte coletivo, no âmbito desse estudo, certamente ele terá papel fundamental nos estudos setoriais de sistema viário e circulação.

De fato, uma análise do eixo viário demonstrou que a implantação de um corredor de transporte coletivo de alta capacidade no Rodoanel Metropolitano não é justificável por uma série de razões. Atualmente, os deslocamentos de pessoas na RMBH apresentam um comportamento majoritariamente radial dos municípios em direção aos principais polos metropolitanos e a diferentes regionais da capital Belo Horizonte e, portanto, não há demanda para os deslocamentos intermunicipais utilizando o traçado previsto para o Rodoanel. Assim, um corredor de BRT no Rodoanel não atenderia as linhas de desejo da população e não teria os requisitos de viabilidade técnico-econômico-financeira dentro dos horizontes estudados, sem benefícios expressivos para os usuários de transporte coletivo, podendo, inclusive, gerar percursos negativos.

A Figura 41 apresenta as linhas de desejo observadas por meio da OD de Bilhetagem Eletrônica com dados de 2019, e confirmam os principais eixos de deslocamentos na RMBH, de características radiais dos municípios em direção aos principais polos regionais da RMBH, notadamente, as áreas industriais e diferentes regiões da Capital. O traçado do Rodoanel está indicado no mapa em roxo.



Figura 41: Linhas de desejo RMBH - OD Bilhetagem Eletrônica 2019 (passageiros/dia)

A Figura 42 apresenta as linhas de desejo, considerando uma seleção das zonas contempladas pelo traçado do Rodoanel (zonas em vermelho). Ela demonstra que as viagens produzidas em transporte coletivo nas zonas no entorno do Rodoanel são atraídas majoritariamente pelas regionais de Belo Horizonte e confirmam que o volume de usuários de transporte coletivo que realizam viagens entre áreas dos municípios atendidos pelo Rodoanel é inexpressivo.

Produção

Atração

At

Figura 42: Linhas de desejo das zonas no entorno do Rodoanel - OD Bilhetagem Eletrônica 2019 (passageiros/dia)

Com o objetivo de entender se há demanda potencial para o transporte coletivo, considerando aqueles que hoje utilizam outros modos de transporte, foi realizada a análise das linhas de desejo da OD Pessoas 2019, desenvolvida com dados de telefonia celular. A Figura 43 demonstra que as linhas de desejo da OD Pessoas são bastante similares às linhas de desejo da OD de Bilhetagem Eletrônica. As ligações mais expressivas entre os municípios contemplados pelo Rodoanel são: Ibirité - Contagem; Ibirité - Betim; Contagem - Ribeirão das Neves; e, Ribeirão das Neves - Vespasiano. Contudo, um corredor de BRT somente é recomendável quando a demanda for superior a 10.000 passageiros/hora/sentido. A linha de desejo entre Contagem e Betim mostra o volume de apenas 1.600 viagens/hora/sentido, na hora mais carregada do dia (8h). As demais linhas de desejo mostram volumes inferiores a 1.000 viagens. Isso demonstra que não há atualmente demanda potencial que justifique a implantação de um corredor de BRT ou de uma estrutura dedicada a serviços de transporte coletivo no eixo do Rodoanel Metropolitano.

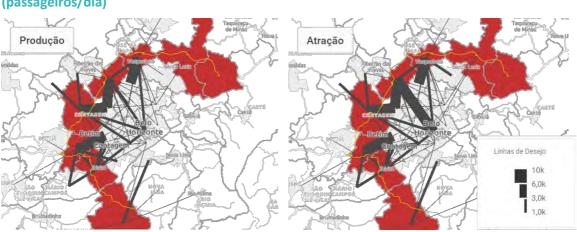


Figura 43: Linhas de desejo das zonas no entorno do Rodoanel - OD Pessoas 2019 Telefonia (passageiros/dia)

É importante ressaltar que o objetivo do Rodoanel Metropolitano é atrair o tráfego de passagem da RMBH, principalmente de veículos pesados, promovendo melhorias no tráfego urbano, inclusive de veículos de transporte coletivo, e reduzindo acidentes, em especial no Anel Rodoviário de Belo Horizonte. Neste sentido é importante ressaltar a necessidade da aplicação de restrições do tráfego de veículos pesados no Anel Rodoviário, visando potencializar a utilização da nova infraestrutura a ser construída (Rodoanel), e melhorando assim os níveis de serviço do atual Anel Rodoviário.

Deve-se ressaltar ainda que, por motivos operacionais e de segurança viária, há incompatibilidade entre as velocidades de uma via expressa e de um sistema de transporte coletivo parador. O Projeto de Modelagem do Processo para Concessão do Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte teve como parâmetros para análise do nível de serviço a velocidade de fluxo livre de 100 km/h e 2 faixas por sentido com largura de 3,6 m. Em alguns trechos, em caso de execução de vias marginais, o transporte coletivo regular (linhas comuns), preferencialmente em veículos de características rodoviárias, poderá ser operado, uma vez que haverá a segregação do tráfego urbano do tráfego de longa distância.

Ademais, é importante considerar o alto custo de investimento para a implantação de um corredor de transporte coletivo de alta capacidade. Em um cenário de escassez de recursos, é essencial priorizar os projetos localizados nos eixos urbanos em que há maior demanda, os quais estão considerados nos cenários de implantação (item 5.4.4).

Caso seja identificada demanda para a criação de linhas de transporte coletivo por ônibus convencional em horizonte futuro, é importante salientar que os veículos devem ter característica rodoviária, com os passageiros sentados. Este aspecto deve, contudo, ser objeto de análise específica, considerando o tipo de ocupação lindeira ao eixo viário. Nesse sentido, ressalta-se que a implantação de infraestrutura de transporte coletivo no eixo rodoviário estimula a ocupação lindeira e o uso irregular da faixa de domínio, resultando em insegurança viária e na necessidade de futuras passarelas para transposição em desnível da rodovia, bem como interseções em nível ou desnível para acesso aos lotes lindeiros, o que contraria o objetivo principal do projeto do Rodoanel. De qualquer modo, aspectos como implantações de pontos de embarque e desembarque e passarelas devem ser analisados de forma individualizada, na etapa de aprovação dos projetos dos empreendimentos no entorno do eixo viário.

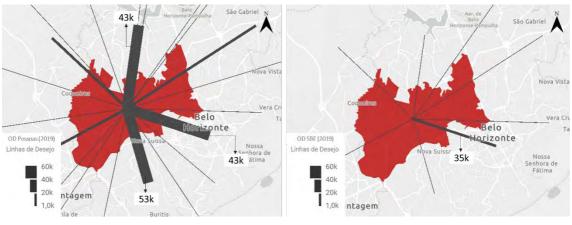
Finalmente, ressalta-se que os planos de mobilidade urbana devem, de acordo com a Lei Federal 12.587/2012, serem revistos a cada 10 anos. Assim, caso a evolução da ocupação urbana nos próximos anos no entorno do Rodoanel aponte a necessidade de uma infraestrutura de transporte coletivo para atendimento da demanda futura, solução mais adequada deverá ser estudada. Neste sentido, é fundamental que a faixa de domínio do futuro Rodoanel seja prevista de forma a permitir eventual ampliação de sua capacidade.

## 5.3. ANÁLISE DE LINHAS DE DESEJO

Com o objetivo de avaliar a relação entre oferta e demanda e identificar a necessidade de projetos adicionais às cestas apresentadas no item 5.1, foi desenvolvida uma análise das linhas de desejo resultantes das matrizes origem-destino de bilhetagem eletrônica e de telefonia (apresentadas respectivamente no itens 2.3 e 2.4). Assim, apesar das limitações identificadas na OD de telefonia, é importante ressaltar que esse foi um dado fundamental para identificar tendências de demanda e lacunas de oferta. A partir da análise destes dados foi possível propor projetos complementares à rede futura e validar os projetos avaliados previamente, entendendo-os como essenciais para atender as atuais necessidades de deslocamento da população na RMBH. Alguns aspectos dessa análise estão descritos a seguir.

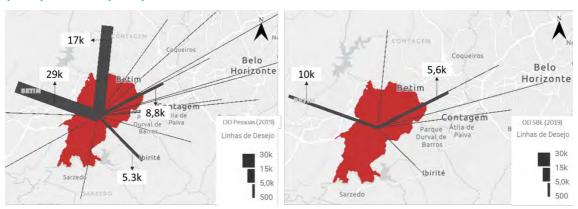
• Viagens entre as regionais Noroeste e Oeste de Belo Horizonte (Figura 44): A análise das linhas de desejo da OD Pessoas originadas na Regional Noroeste de Belo Horizonte indicou que o maior volume de viagens com origem nesta regional tem como destino a Regional Oeste, sendo realizadas aproximadamente 53 mil viagens/dia/sentido. Em seguida, são também relevantes as viagens para as regionais Pampulha e Centro, ambas com aproximadamente 43 mil viagens/dia/sentido. As linhas resultantes da OD SBE 2019, por outro lado, não apontaram essa forte relação entre as regionais Oeste e Noroeste, indicando que, no contexto atual, tais viagens não são realizadas em transporte público e demonstrando uma ligação com grande potencial para migração modal. Neste contexto, a importância dos projetos BRS Rota Noroeste e Metrô Leve foi reforçada, uma vez que, integrados à estação Nova Suíssa da Linha 2, estes projetos irão promover melhor conectividade da rede de transporte público entre as regionais Noroeste e Oeste, bem como fortalecer a ligação com o Centro e a Pampulha.

Figura 44: Principais linhas de desejo da Regional Noroeste nas matrizes OD Pessoas (2019) e OD SBE (2019)



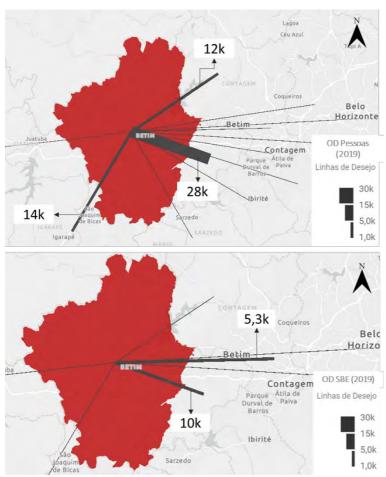
• Viagens entre Betim Leste e Contagem Centro-Oeste (Figura 45): As linhas de desejo produzidas pela zona Betim Leste na da OD Pessoas indicam que a maioria das trocas são com a macrozona Betim Oeste (29 mil viagens/dia/sentido) e, portanto, indicativas de soluções de caráter local, interno ao próprio município. Outras principais linhas de desejo são para Contagem, para as macrozonas Eldorado (8,8 mil viagens/dia/sentido) e Contagem Centro-Oeste (43 mil viagens/dia/sentido). Embora, de uma forma geral, as linhas de desejo indicadas pela OD SBE apresentem certa similaridade com as linhas de desejo da OD Pessoas, observa-se que a linha de desejo entre Betim-Leste e Contagem Centro-Oeste não é tão expressiva, o que permite induzir que, no contexto atual, tais viagens não são realizadas em transporte público. Neste contexto, os projetos Linha A (trilhos) e BRS Corredor Leste-Oeste podem contribuir para melhorar a conexão em transporte público entre essas regiões, além de favorecer as viagens internas ao município de Betim, bem como entre Betim-Leste e Eldorado.

Figura 45: Principais linhas de desejo da macrozona Betim Leste nas matrizes OD Pessoas (2019) e OD SBE (2019)



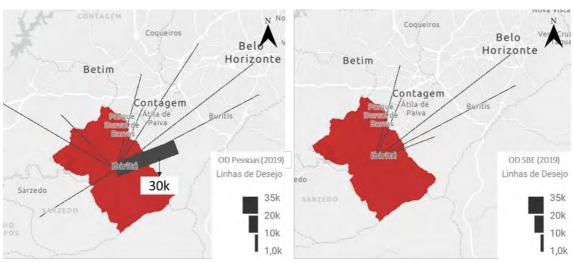
Viagens entre Betim-Oeste e Igarapé (Figura 46): A análise das principais linhas de desejo originadas na macrozona Betim-Oeste reforça a relevância dos projetos Linha A e Corredor Norte-Sul, já indicados no item anterior. Além disso, a linha de desejo entre Igarapé e Betim da OD Pessoas se mostra muito expressiva, com 14 mil viagens/dia/sentido. Assim, mostrou-se importante fazer uma boa alimentação desde Igarapé aos projetos Terminal Betim e Terminal Imbiruçu.

Figura 46: Principais linhas de desejo da macrozona Betim Oeste nas matrizes OD Pessoas (2019) e OD SBE (2019)



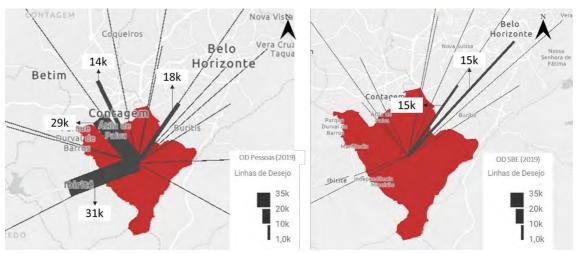
• Viagens originadas em Ibirité (Figura 47): A principal linha de desejo da OD Pessoas originada em Ibirité tem como destino a macrozona Barreiro, em Belo Horizonte (30 mil viagens/dia/sentido). Contudo, essa linha de desejo não é tão expressiva na OD SBE, induzindo à interpretação de que essas viagens não são realizadas em transporte coletivo. Assim, o trecho do projeto BRS Corredor Sudoeste é de grande importância para melhorar a oferta de transporte coletivo entre Ibirité e a regional Barreiro.

Figura 47: Principais linhas de desejo do município de Ibirité nas matrizes OD Pessoas (2019) e OD SBE (2019)



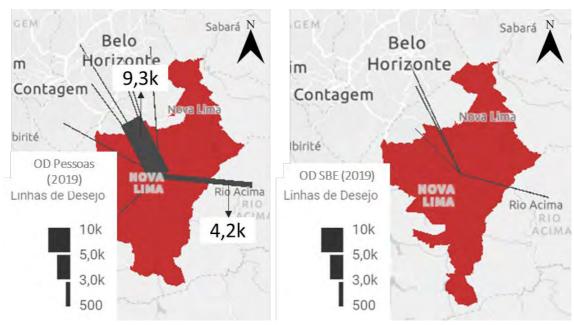
• Viagens originadas na Regional Barreiro de Belo Horizonte (Figura 48): As principais linhas de desejo da Regional Barreiro na OD Pessoas têm como destino as macrozonas Ibirité (31 mil viagens/dia/sentido), Contagem Amazonas (29 mil viagens/dia/sentido), Regional Oeste de Belo Horizonte (18 mil viagens/dia/sentido) e Contagem Eldorado (14 mil viagens/dia/sentido). Na análise das linhas de desejo da OD SBE, por outro lado, as principais linhas de desejo são para as regionais Centro e Oeste de Belo Horizonte, indicando que as viagens aos principais destinos apontados na OD Pessoas não estão sendo realizadas em transporte público coletivo, o que demonstra a característica radial do sistema de transporte coletivo atual e revela as fragilidades do sistema em conexões diametrais entre bairros e regionais. Assim, os projetos BRS Corredor Sudoeste, Linha 2 do metrô, Linha A (trilhos) e Corredor Norte-Sul são essenciais para promover melhores conexões em transporte público entre a Regional Barreiro e, respectivamente, o município de Ibirité, a Regional Oeste de Belo Horizonte e o município de Contagem, tanto na região do Amazonas, quanto do Eldorado.

Figura 48: Principais linhas de desejo da Regional Barreiro nas matrizes OD Pessoas (2019) e OD SBE (2019)



Viagens originadas em Nova Lima (Figura 49): A análise das linhas de desejo da OD Pessoas originadas na macrozona Nova Lima Sede indicou que o maior volume de viagens com origem nesta macrozona tem como destino a macrozona Nova Lima Vila da Serra, sendo realizadas aproximadamente 9,3 mil viagens/dia/sentido. Nesse sentido, o projeto BRT Via Estruturante Sul apresenta o potencial de melhorar o acesso entre essas regiões do município, uma vez que representa uma alternativa à MG-030, hoje saturada nos períodos de pico. Além disso, outra principal ligação é entre a macrozona Nova Lima Sede e o município de Rio Acima, sendo realizadas aproximadamente 4,2 mil viagens/dia/sentido. Essa ligação seria atendida pelo projeto Extensão da Linha B (trilhos), entretanto deve-se considerar que a demanda identificada ainda é considerada muito baixa para a implantação de um corredor de transporte coletivo de alta capacidade, seja sobre pneus ou sobre trilhos, indicativo de que uma ligação por transporte coletivo, entre estes dois municípios, mais eficiente é a solução mais adequada. Tal melhoria será possível com a proposta de criação de um **terminal em Nova Lima**, nas proximidades da interseção entre as rodovias MG-030 e ALM-150, que tem por objetivo facilitar o acesso de moradores de Rio Acima e de Raposos a diversas localidades em Nova Lima e, também, ao longo da MG-030 até o BH Shopping.

Figura 49: Principais linhas de desejo da macrozona Nova Lima Sede nas matrizes OD Pessoas (2019) e OD SBE (2019)



Viagens originadas na macrozona Santa Luzia São Benedito (Figura 51): A análise das linhas de desejo da OD Pessoas indicou que há muitas viagens com origem nesta macrozona com destino às regionais Venda Nova e Norte de Belo Horizonte. A análise das linhas de desejo da OD SBE, por outro lado, demonstra que as viagens em transporte coletivo são, majoritariamente, em direção ao centro de Belo Horizonte. Nesse sentido, ressalta-se que as linhas que operam entre o Terminal São Benedito e o centro de Belo Horizonte oferecem atualmente boa velocidade operacional e um preço competitivo. Por outro lado, há pouca oferta de linhas aos bairros de Belo Horizonte que são limítrofes a Santa Luzia e estas possuem uma tarifa comparativamente alta.

12k Vespasian Vespasian ta Luzia Luzia Lagoa Lagoa Céu Azul 10k Céu Azul OD Pessoas OD SBE (2019) (2019) 15k Linhas de Deseio Linhas de Desejo Vista 15k 15k Vera Cruz Coqueiros 10k 10k 5,0k 5,0k 500 Horizonte 500

Figura 50: Principais linhas de desejo da macrozona São Benedito (Santa Luzia) nas matrizes OD Pessoas (2019) e OD SBE (2019)

Fonte: Elaboração própria, 2021.

O conteúdo sobre a análise das linhas de desejo apresentado neste subcapítulo visa exemplificar as análises realizadas durante o processo de definição das redes futuras, entretanto não é exaustivo. Para a reorganização das redes (5.4), as principais linhas de desejo de cada uma das 46 macrozonas da OD SBE (2019) e da OD Pessoas (2019) foram analisadas de forma criteriosa com o objetivo de melhor interpretar os deslocamentos na RMBH e propor soluções mais adequadas.

## 5.4. REORGANIZAÇÃO DAS REDES

A reorganização das redes de transportes é uma ação necessária e foi desenvolvida considerando os horizontes de implantação (5.5) e as análises das linhas de desejo (5.3). Assim, foram desenvolvidos cenários de reorganização de rede priorizando o transporte tronco-alimentado, a integração modal e a integração regional, gerando possibilidades de ligações inexistentes na rede atual, mas de desejo da população.

Os cenários de rede consideram os sistemas estruturantes existentes, aproveitando o seu potencial de ampliação, criam novos terminais, têm em conta os projetos de infraestrutura de transporte analisados na Etapa 2 e aproveitam infraestruturas municipais, existentes e propostas, para promover a integração metropolitana.

À medida que os projetos são implantados, a rede vai se moldando de forma a absorver e usufruir dessa nova infraestrutura, a partir de sistemas de transporte por trilhos ou de transporte por ônibus (BRT, BRS ou outras soluções de priorização do transporte coletivo), sempre adequados ao volume dos fluxos de passageiros, com o objetivo de prover as melhores soluções para o deslocamento da população da RMBH.

#### 5.4.1. DIRETRIZES

A reorganização da rede de transporte foi proposta com base nas seguintes diretrizes:

- Hierarquizar os modos de transporte metropolitanos e municipais dentro de uma estruturação tronco-alimentada, reforçando a função de alimentação local, a ser majoritariamente desempenhada por linhas municipais, e a articulação das redes locais com os eixos estruturantes em terminais e estações de integração;
- Reforçar o caráter estruturante dos eixos metroferroviários, em especial da Linha 1, em operação, e da futura Linha 2 do metrô, planejando os demais sistemas para alimentá-los e favorecendo integrações entre esse modo e o restante do sistema de transporte público e modos ativos.
- Favorecer integração entre sistemas municipais e metropolitanos, tanto sob o aspecto físico como tarifário;
- Racionalizar a rede de transporte público, tratando o transporte municipal como responsável pela alimentação e evitando a concorrência entre sistemas e a superposição de serviços de transporte;
- Aumentar da produtividade do sistema de transporte público, tendo em vista a otimização da capacidade das redes de transporte no nível municipal em coerência com reorganização da oferta do sistema metropolitano de caráter estruturante; e
- Orientar a reestruturação das redes de transporte municipais, facilitando a realização de trajetos mais diretos e favorecendo as correspondências, a partir de uma lógica de integração tarifária.

O detalhamento das medidas adotadas na reorganização das redes é realizado a seguir.

## 5.4.2. TERMINAIS DE INTEGRAÇÃO

De acordo com as diretrizes do trabalho, foi avaliada a implantação dos terminais planejados em estudos anteriores e a inclusão de novos terminais, a partir da análise das linhas de desejo das pesquisas OD Pessoas e OD SBE.

Em um primeiro momento, foram considerados os terminais propostos em projetos anteriores, notadamente aqueles indicados no edital de licitação do transporte coletivo metropolitano, que não foram implantados até o momento. Esses terminais, foram propostos em 2007, com as diretrizes e projeções da época. Para analisar essas propostas, considerou-se a atualização de ocupação, crescimento populacional e a compatibilização com novos projetos de trilhos e infraestrutura viária constantes nas Cestas de Projetos.

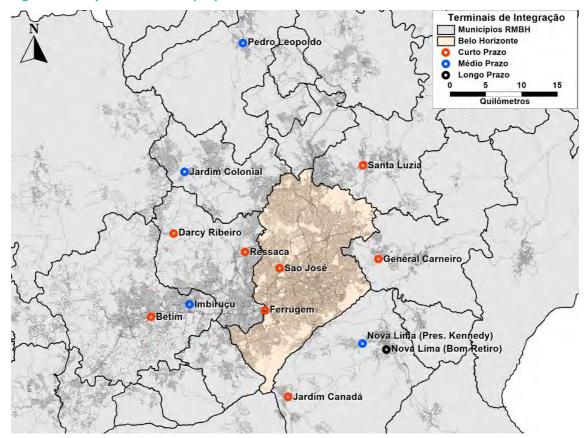


Figura 51: Mapa de terminais propostos

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Desta análise preliminar, foram identificados os terminais posicionados em locais estratégicos para o transporte coletivo, que estão de acordo com as diretrizes dos eixos estruturantes. Destacadamente, os terminais Jardim Colonial, Darcy Ribeiro, Ressaca, Jardim Canadá, Nova Lima (Pres. Kennedy), Santa Luzia e São José são projetos anteriores mantidos na concepção dos cenários. É importante salientar que os terminais Darcy Ribeiro, Contagem e Ressaca, foram concebidos pelo município de Contagem e incorporados, no âmbito desse estudo, para promover a integração metropolitana.

Outros terminais foram reposicionados de forma melhorar sua integração e utilidade: Cidade Industrial, terminal pensado incialmente na Av. David Sarnoff, nas proximidades da Av. Tito Fulgêncio, foi reposicionado para o bairro Vila São Paulo, a 300 metros da posição original, de forma a ficar compatibilizar-se com o traçado da linha 2 do metrô, próximo à Estação Ferrugem (metrô Linha 2).

O Terminal Imbiruçu, embora não tenha integrado a Avaliação de Projetos da Etapa 2, já havia sido objeto de estudos anteriores. Previamente, este se posicionava próximo a BR-381, no bairro Jardim Teresópolis, em Betim, contudo, no âmbito desse estudo, optou-se por deslocálo para próximo ao traçado da Linha A de trem. Ainda, o Terminal Betim é um terminal existente, localizado ao lado do Shopping Partage, na BR-381 e juntamente com o terminal rodoviário de Betim. Esse terminal, devido ao seu tamanho limitado, focará nas linhas oriundas dos municípios posteriores a Betim e ao sistema municipal de Betim que já opera no terminal.

O terminal Alvorada, proposto para ser implantado na região do bairro Alvorada em Sabará foi descartado por esse estudo, uma vez que próximo a esse bairro se encontra a estação José Cândido da Silveira, podendo lá ser o terminal daquela região, mas atualmente as linhas do bairro estão sendo integradas na estação São Gabriel. Diante disso, percebeu-se a necessidade de implantar um terminal no bairro General Carneiro, local de concentração de muitas linhas, com 90% de sobreposição de itinerários.

De acordo com as análises de demanda realizadas nesse estudo, identificou-se que Pedro Leopoldo é um grande polo atrativo de viagens da sua micro região, que contempla as cidades de Matozinhos e Capim Branco. Dessa forma, Pedro Leopoldo se transforma em um hub de viagens, gerando a integração regional e concentração de linhas para Belo Horizonte, com menor intervalo entre as viagens.

O município de Nova Lima, principal município de sua micro região que conta com as cidades de Rio Acima e Raposos, também foi identificado como polo atrativo de demanda. Sendo assim, identificou-se dois locais possíveis de implantação de infraestrutura de transporte. Um localizado no bairro Bom Retiro, no entroncamento da MG-o3o com Av. José Bernardo de Barros, onde pode se construir um terminal ou estação ponto, concentrando linhas troncais e as linhas alimentadoras de Raposos e Rio Acima. Ao apreciar a cesta de projetos, também se verificou a existência do projeto de um terminal localizando na MG-o3o, entroncamento com a Av. Presidente Kennedy, no bairro Vila Aparecida. Nos nossos estudos, devido a localização e configuração da rede, a melhor configuração seria uma estação ponto, alimentada por linhas oriundas da sede de Nova Lima e por troncais próprias e troncais de origem na estação do bairro Bom Retiro.

Ainda se tratando de Nova Lima, temos o bairro Jardim Canadá, localizado as margens da BRo4o sentido Rio de Janeiro, bairro que concentra grande parte do comercio da região. O edital de licitação do transporte metropolitano de 2007 indicava para esse local um terminal, uma vez que muitas linhas de bairros posteriores ao Jardim Canadá possuem itinerário sobreposto. Dessa forma manteve-se essa indicação, contemplando um terminal, aumentando assim a integração regional, mas agora com linhas e tarifas mais compatíveis.

## 5.4.3. SECCIONAMENTO DE LINHAS METROPOLITANAS E MUNICIPAIS: SISTEMAS TRONCAL E ALIMENTADOR

Com o propósito de atender os novos terminais localizados em pontos estratégicos da RMBH e, assim, otimizar as linhas que compõem o sistema tronco-alimentado, foram indicadas algumas diretrizes por horizonte de projeto. É possível observar, na Figura 52, que o vetor norte da RMBH já foi beneficiado com alterações nesse sentido, como a implantação dos sistemas de BRT nos corredores Antônio Carlos e Cristiano Machado. Ademais, na Etapa 1 desse estudo, durante o diagnóstico, observou-se que o vetor oeste é aquele em que há maior sobreposição de oferta. Por esse motivo, a maioria das intervenções presentes nessa fase estão localizadas no vetor oeste.

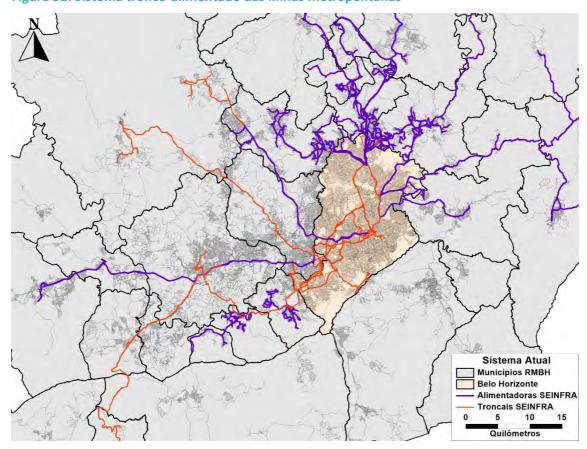


Figura 52: Sistema tronco-alimentado das linhas metropolitanas

Fonte: Elaboração própria, 2021.

No curto prazo, foi implementado um sistema troncal, conforme a Figura 53, com o objetivo de atender aos terminais Betim, Darcy Ribeiro, Ressaca, São José, General Carneiro, Jardim Canadá e Ferrugem. O sistema troncal proposto no curto prazo (2027) está apresentado na Tabela 14:

Tabela 14: Troncais propostas horizonte 2027

Terminal	Linha	Tipo de Serviço	Tipo de veículo
Terminal Betim	Terminal Betim (Partage) - Estação	Troncal - Metrô	Padron 15
(Partage)	Eldorado		metros
Terminal Betim	Terminal Betim (Partage) - Centro BH	Troncal - Belo	Padron 15
(Partage)		Horizonte	metros
Terminal Darcy	Terminal Darcy Ribeiro - Terminal	Troncal -	Padron 13
Ribeiro	Ressaca	Perimetral	metros
Terminal Darcy	Terminal Darcy Ribeiro - Terminal	Troncal -	Padron 13
Ribeiro	Ferrugem	Perimetral	metros
Terminal Ressaca	Terminal Ressaca - Estação Eldorado	Troncal - Metrô	Padron 13 metros
Terminal Ressaca	Terminal Ressaca - Estação Nova Suíssa	Troncal - Metrô	Padron 13 metros
Terminal Ressaca	Terminal Ressaca - Terminal Vilarinho (via Pampulha)	Troncal - Perimetral	Padron 13 metros
Terminal Ressaca	Terminal Ressaca - Terminal Vilarinho	Troncal -	Padron 13
	(via Ribeirão das Neves)	Perimetral	metros
Terminal Ressaca	Terminal Ressaca - Terminal Justinópolis	Troncal -	Padron 13
	(via Ceasa)	Perimetral	metros
Terminal Ressaca	Terminal Ressaca - Ribeirão das Neves	Troncal -	Padron 13
	(via Ceasa)	Perimetral	metros
Terminal São José	Terminal São José - Terminal Ferrugem	Troncal - Metrô	Padron 13 metros
Terminal General	Terminal General Carneiro - Centro BH	Troncal - Belo	Padron 15
Carneiro	(via Andradas)	Horizonte	metros
Terminal General	Terminal General Carneiro - Centro BH	Troncal - Belo	Padron 15
Carneiro	(via José Candido da Silveira)	Horizonte	metros
Terminal Jardim	Terminal Jardim Canadá - Centro BH	Troncal - Belo	Padron 15
Canadá		Horizonte	metros
Terminal Jardim	Terminal Jardim Canadá - Nova Lima	Troncal -	Padron 13
Canadá	SEDE	Perimetral	metros
Terminal	Terminal Ferrugem - Centro BH	Troncal - Belo	Padron 15
Ferrugem		Horizonte	metros
Estação Eldorado	Estação Eldorado - Centro BH	Troncal - Belo Horizonte	Padron 15 metros
Estação Amazonas	Estação Amazonas - Centro BH	Troncal - Belo Horizonte	Padron 15 metros
		Honzonte	1110000
Estação Nova	Estação Nova Suíssa - Estação Venda	Troncal -	Padron 13
Suíssa	Nova	Perimetral	metros
	Estação Nova Suíssa - Estação Venda	Troncal -	Padron 13

As linhas propostas têm o objetivo de promover a integração entre os vetores metropolitanos, ligando os terminais entre eles, as linhas de metrô e ao centro de Belo Horizonte.

O tipo de veículo proposto são veículos do tipo Padron, veículos padronizados de forma atender a capacidade do veículo, especificações de operação em plataformas elevadas e acessos em

nível, acessibilidade universal e conforto térmico e ergonômico dos passageiros. A diferenciação de veículos de 13 metros e de 15 metros é a capacidade transportada, onde o veículo de 13 metros tem capacidade de projeto definida para 100 passageiros (sentados e em pé) e veículos de 15 metros transportando até 120 passageiros.

A representação das linhas descritas na Tabela 14, reflete a intenção de otimizar o sistema de transporte no vetor oeste da RMBH, por meio da rede de troncais e terminais de acordo com as diretrizes propostas. A Figura 53 representa essa rede integrada proposta.

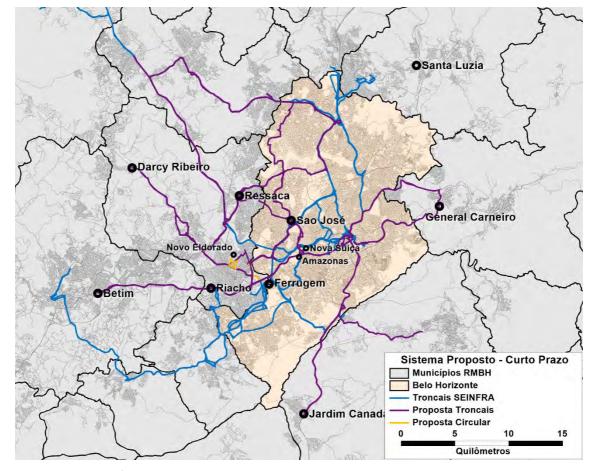


Figura 53: Sistema troncal proposto para 2027

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Para alimentar o serviço troncal, os seccionamentos das linhas foram conduzidos da seguinte forma:

- Linhas da bacia de Ibirité alimentam a Estação Barreiro;
- Linhas com origem em Florestal, Mateus Leme, Rio Manso, Itatiaiuçu e Itaguara alimentam o Terminal Betim;
- Linhas com origem em Betim e Contagem, e que passam ao longo da BR-381, alimentam o Terminal Ferrugem;

- Linhas com origem no Retiro das Pedras, Jardim Canadá, Quintas do Morro, Alphavile, Água Limpa (regiões localizadas em Nova Lima) e Recanto da Serra, Suzana, São José do Paraopeba e Casa Branca (regiões localizadas em Brumadinho) alimentam o Terminal Jardim Canadá;
- Linhas com origem em Esmeraldas e que passam ao longo da BR-381 alimentam o Terminal Darcy Ribeiro;
- Linhas com origem nos bairros Nações Unidas, Nossa Senhora de Fátima e Carvalho de Brito alimentam o Terminal General Carneiro.

Assim, o serviço tronco-alimentado do curto prazo pode ser observado na imagem a seguir, Figura 54:

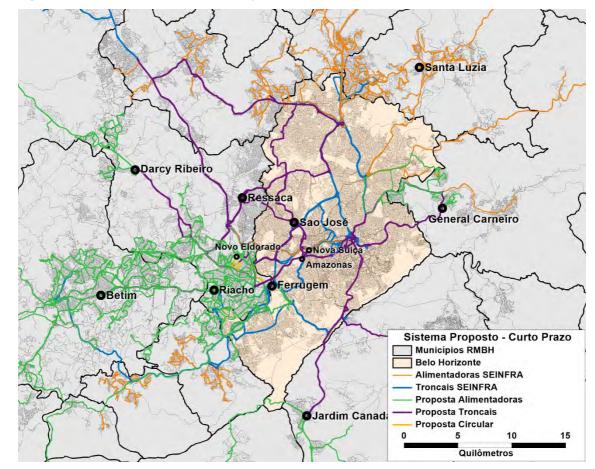


Figura 54: Sistema tronco-alimentado para 2027

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Seguindo o conceito tronco-alimentado proposto no cenário de 2027, novas troncais relacionadas aos terminais designados para o médio prazo (2032) foram propostas e são apresentadas na Tabela 15:

**Tabela 15: Troncais propostas horizonte 2032** 

Terminal	Linha	Tipo de Serviço	Tipo de veículo
Terminal Jardim	Terminal Jardim Colonial - Centro BH	Troncal - Belo	Padron 15
Colonial		Horizonte	metros
Terminal Jardim	Terminal Jardim Colonial - Estação	Troncal - Metrô	Padron 15
Colonial	Eldorado		metros
Terminal Jardim	Terminal Jardim Colonial - Terminal	Troncal -	Padron 13
Colonial	Darcy Ribeiro (via Esmeraldas)	Perimetral	metros
Terminal Nova Lima	Terminal Nova Lima (Presidente	Troncal -	Padron 13
(presidente Kennedy)	Kennedy) - BH Shopping	Regional	metros
Terminal Nova Lima (presidente Kennedy)	Terminal Nova Lima (presidente Kennedy) - Terminal Ferrugem (via Anel Rodoviário)	Troncal - Metrô	Padron 13 metros
Terminal Nova Lima	Terminal Nova Lima (presidente	Troncal - Belo	Padron 15
(presidente Kennedy)	Kennedy) - Centro BH	Horizonte	metros
Terminal Imbiruçu	Terminal Imbiruçu - Terminal Ferrugem	Troncal - Metrô	Padron 15 metros
Terminal Imbiruçu	Terminal Imbiruçu - Terminal Riacho	Troncal - Regional	Padron 13 metros
Terminal Imbiruçu	Terminal Imbiruçu - Centro BH	Troncal - Belo Horizonte	Padron 15 metros
Terminal Pedro	Terminal Pedro Leopoldo - Terminal	Troncal - Metrô	Padron 15
Leopoldo	Vilarinho		metros

A Figura 55 apresenta a rede de linhas troncais em 2032, mantendo as diretrizes propostas, mas inserindo os novos terminais e criando as ligações.

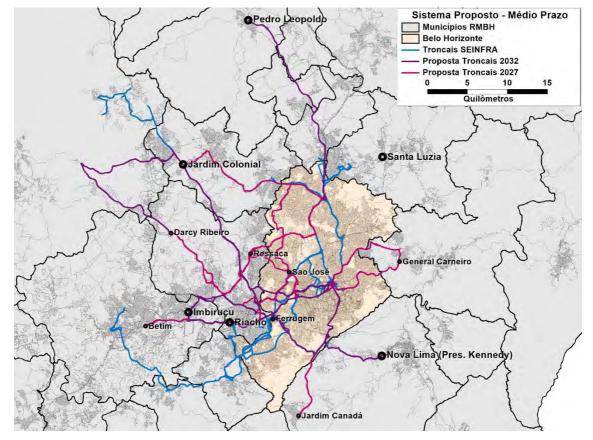


Figura 55: Sistema troncal proposto para 2032

Para alimentar o sistema troncal, que também considera as troncais do curto prazo, é definido outros seccionamentos de maneira a atender os terminais incorporados nesse cenário:

- Linhas com origem em Esmeraldas, que passam pela BR-040, alimentam o terminal Jardim Colonial
- Linhas com origem em Matozinhos e Capim Branco alimentam o Terminal Pedro Leopoldo
- Linhas com origem em Raposos e Rio Acima alimentam o Terminal Nova Lima (presidente Kennedy)
- Linhas com origem em Betim começam a alimentar Imbiruçu, em detrimento do Terminal Ferrugem

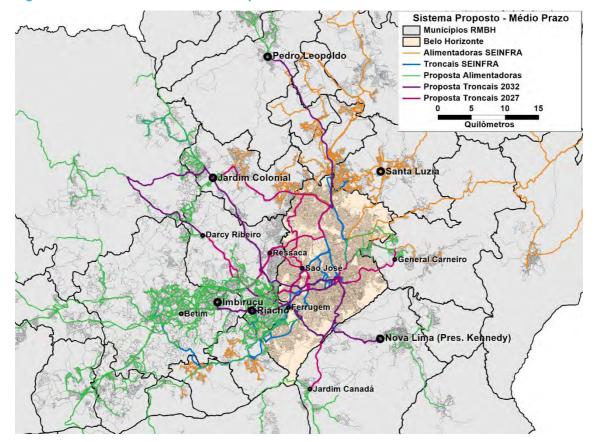


Figura 56: Sistema tronco-alimentado para 2032

No horizonte 2042, as propostas de tronco-alimentação permanecem semelhante ao médio prazo, consoante à Figura 57, porém com a inclusão de linhas ferroviárias e novas linhas, denominadas aqui como Linhas Complementares. A incorporação destas, por sua vez, tem como expectativa, atender demandas e projetos que não foram compreendidas com outras ações. Dessa forma, o longo prazo foi constituído da seguinte forma:

- A linha A passa a ter função de troncal na região de Betim, atendendo o município e gerando a intermodalidade no terminal Imbiruçu.
- Em Nova Lima, no bairro Bom Retiro, será implantada a estação ponto para atender às demandas dos usuários oriundos de Rio Acima e Raposos que desejam ir até Belo Horizonte, por meio de uma via exclusiva, a Via Estruturante Sul. Para esse trajeto são propostas três linhas:
  - o Nova Lima Cidade Industrial (via Barão Homem de Melo)
  - o Nova Lima Cidade Industrial (via Anel Rodoviário)
  - o Nova Lima Centro BH (via BH Shopping)
- Linha circular que engloba todo o Anel Intermediário

 Linha Ibirité - Imbiruçu para atender um trecho do BRS Diametral. Sobre este projeto, entende-se que como em outros trechos dele já havia linhas passando na vizinhança seria alocada até esses corredores. A mesma premissa foi adotada para corredores de BRT e BRS desse mesmo cenário.

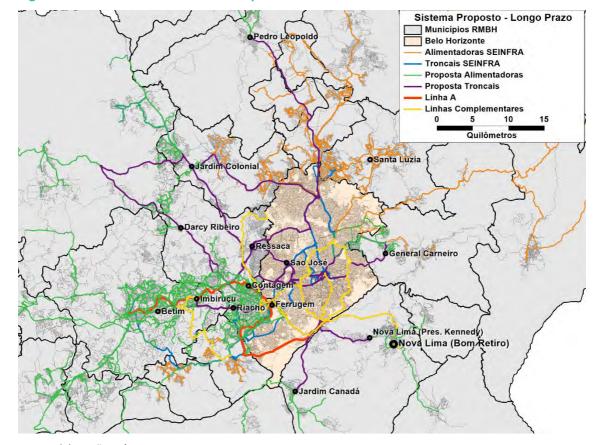


Figura 57: Sistema tronco-alimentado para 2042

Fonte: Elaboração própria, 2021.

## 5.4.4. INTEGRAÇÃO TARIFÁRIA DOS SISTEMAS DE TRANSPORTE

À medida que a rede futura de transporte foi sendo ajustada para os anos horizonte modelados, fez-se necessária a criação de regras especificas de integração entre linhas alimentadoras, troncais e sistemas sobre trilhos. Uma vez que é volumoso o montante de linhas seccionadas em terminais propostos, tais regras foram definidas por conjunto de alimentadoras e por terminal. A Tabela 16, Tabela 17 e Tabela 18 apresentam, respectivamente, as regras adotadas para os cenários C1A, C2A e C3A (os cenários são descritos no capítulo 7) para as tarifas integradas entre as novas alimentadoras, troncais e linhas do metrô.

De modo geral, dentro do sistema metropolitano (SEINFRA), para o valor da nova tarifa integrada, buscou-se manter um valor igual ou aproximado do valor da tarifa da linha antes de ser seccionada. Dessa forma, se um passageiro paga em 2021 o valor de R\$ 6,75 para embarcar em uma das cidades da RMBH e desembarcar no centro da capital, após a troncalização do sistema ele irá desembolsar R\$ 5,00 no primeiro embarque na alimentadora, e pagará um

complemento de R\$ 1,75 no terminal ao embarcar em uma linha troncal e finalizar sua viagem para Belo Horizonte. Cada valor de tarifa e complemento foi ajustado conforme o contexto de cada terminal proposto, e conforme tarifa já praticada pelas linhas com destino a Belo Horizonte.

As alimentadoras de um mesmo terminal integram gratuitamente entre si, assim como as troncais de um mesmo terminal. O critério de integração adotado para o metrô e as linhas alimentadoras é de que o complemento sempre será menor ou igual ao complemento praticado para as troncais que levam a Belo horizonte, de maneira a não criar uma concorrência que prejudique o sistema de trilhos. Dessa forma, se em um terminal o complemento pago para embarcar em uma linha troncal com destino a Belo Horizonte é de R\$ 1,30, o complemento com o metrô será no máximo R\$ 1,30. Essa regra não se aplica excepcionalmente ao Terminal de Nova Lima em uma nova linha alimentadora que começa a operar no último cenário e não tem previsão de integração com algum sistema de trilhos.

Dentro do sistema da BHTRANS, as linhas que foram seccionadas seguirão o mesmo padrão de integração das alimentadoras que é praticado na atualidade desse estudo. Tais linhas têm tarifas de R\$ 3,15, que complementam a tarifa padrão de R\$ 4,50 ao integrar com troncais e metrô, além da regra geral de tarifa integrada igual a soma da maior tarifa e da metade da menor tarifa para todas as linhas municipais.

A Tabela 16, a seguir, apresenta as regras de integração para os projetos inseridos no cenário C1A.

Tabela 16: Novas regras tarifárias do cenário C1A

Projeto	Terminal	Alimentadoras	Troncais	Metro	Demais linhas
Po2 P11-2	Ferrugem e Barreiro	R\$4,70 - Alimentadoras SEINFRA	R\$ 5,15 - complemento de R\$ 0,45 R\$ 5,85 - complemento de R\$ 1,30 R\$ 6,75 (troncal Nova Lima) - tarifa cheia R\$ 7,30 (troncal Betim) - tarifa cheia	Complemento de R\$ 1,30 (R\$ 6,00)	SEINFRA: maior + menor/2 Demais municipais: Tarifa cheia
		R\$ 3,15 - Alimentadoras BHTRANS	-	Complemento de R\$ 1,35 (R\$ 4,50)	BHTRANS: igual regra atual
P12-1	General Carneiro	R\$ 4,00 - Alimentadoras SEINFRA	R\$ 5,50 - complemento de R\$ 1,50	·	
P43	Darcy Ribeiro	R\$ 4,00 - Alimentadoras SEINFRA	R\$ 5,85 - complemento de R\$ 2,15	Complemento de R\$ 0,75 (R\$ 4,75)	SEINFRA: maior + menor/2 Demais municipais: Tarifa cheia
		R\$ 5,00 - Alimentadoras SEINFRA	R\$ 5,85 - complemento de R\$ 4,90	Tarifa cheia	SEINFRA: maior + menor/2 Demais municipais: Tarifa cheia
P44	Ressaca	Igual tarifa atual	-	Igual regra atual	Igual regra atual
P <i>E</i> 1	Jardim Canada	R\$ 3,50 - Alimentadoras SEINFRA (antigas R\$ 7,35) R\$ 3,50 - Alimentadoras	R\$ 5,55 - complemento de R\$ 2,05 R\$ 7,35 - complemento de R\$ 3,85	Complemento de R\$ 3,85 (R\$ 7,35)	SEINFRA: maior + menor/2 Demais municipais: Tarifa cheia SEINFRA: maior + menor/2
		SEINFRA (antigas R\$ 10,85)	R\$ 5,55 e R\$ 7,35 - tarifa cheia	Tarifa cheia	Demais municipais: Tarifa cheia

A partir do cenário C2A, algumas linhas de trem metropolitano começam a operar. Pelo fato dessas linhas comumente serem mais extensas que a linha de metrô, foram atribuídas tarifas de R\$ 5,85. As regras de tarifas integradas, porém, foram mantidas iguais às do metrô.

A Tabela 17 e a Tabela 18 apresentam, respectivamente, as regras de integração para os cenários  $C_2A$  e  $C_3A$ .

Tabela 17: Novas regras tarifárias do cenário C2A

Projeto	Terminal	Alimentadoras	Troncais	Metro	Demais linhas
P45	Jardim Colonial	R\$ 4,00 - Alimentadoras SEINFRA	R\$ 5,85 - complemento de R\$ 1,85  R\$ 7,35 - complemento de R\$ 3,35	Complemento de R\$ 3,35 (R\$ 7,35)	SEINFRA: maior + menor/2 Demais municipais: Tarifa cheia
P49	lmbiruçu	R\$ 5,00 - Alimentadoras SEINFRA	R\$ 5,15 - complemento de R\$ 0,15 R\$ 5,85 - complemento de R\$ 0,85 (R\$ 5,85), R\$ 1,30 (R\$ 6,30) e R\$ 3,65 (R\$ 8,65) R\$ 6,75 - complemento de R\$ 1,75 (R\$ 6,75), R\$ 2,55 (R\$ 7,55), R\$ 4,00 (R\$ 9,00) e R\$ 6,25 (R\$ 11,25)	Complemento de R\$ 1,75 (R\$ 6,75), R\$ 2,55 (R\$ 7,55), R\$ 4,00 (R\$ 9,00) e R\$ 4,50 (R\$ 9,50)	SEINFRA: maior + menor/2 Demais municipais: Tarifa cheia
P50	Pedro Leopoldo	R\$ 4,40 - Alimentadoras SEINFRA	R\$ 10,00 - tarifa cheia	Tarifa cheia	SEINFRA: maior + menor/2 Demais municipais: Tarifa cheia

Tabela 18: Novas regras tarifárias do cenário C3A

Projeto	Terminal	Alimentadoras	Troncais	Metro	Demais linhas
P41	Nova Lima	R\$ 4,00 - Alimentadoras SEINFRA	R\$ 6,15 - complemento de R\$ 2,75	Tarifa cheia	Tarifa cheia

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Por fim, como regra geral, adotou-se que todas as troncais propostas terão um valor de tarifa integrada ao metrô de 79 % do valor da tarifa cheia. Esse critério se baseou no fato de que os grupos tarifários de integração entre SEINFRA e metrô têm um desconto médio no valor total da tarifa cheia de 21 %. Todas as novas linhas propostas da SEINFRA, sejam alimentadoras ou troncais, integram com as demais linhas metropolitanas a uma regra geral, na qual a tarifa integrada é igual a soma da maior tarifa e da metade da menor tarifa. Todas as regras gerais adotadas encontram-se resumidas na Tabela 19, a seguir.

Tabela 19: Novas regras gerais de integração

Tipo linhas 1	Tipo linhas 2	Regra	
Alimentadoras SEINFRA	SEINFRA atual	Tarifa integrada = maior + menor/2	
Troncais SEINFRA	SEINFRA atual	Tarifa integrada = maior + menor/2	
Alimentadoras SEINFRA	Metrô	Específicas Tabela 16, Tabela 17 e Tabela 18	
Troncais SEINFRA	Metrô	79 % da tarifa cheia	
Alimentadoras SEINFRA	Alimentadoras SEINFRA	Gratuita	
Troncais SEINFRA	Troncais SEINFRA	Gratuita	
Alimentadoras SEINFRA	Troncais SEINFRA	Específicas Tabela 16, Tabela 17 e Tabela 18	
Propostas BHTRANS	BHTRANS atual	Igual regra atual	
Propostas BHTRANS	Metrô	Tarifa integrada = padrão R\$ 4,50	

Os cenários otimistas (C1B, C2B e C3B), que preveem a ampliação das regras de integração intersistemas, praticam as mesmas regras descritas anteriormente, adicionando-se outras regras entre sistemas municipais de ônibus e SEINFRA que antes não existiam. De modo geral, as linhas municipais de Belo Horizonte, Betim, Ibirité, Santa Luzia e Contagem integram com as linhas metropolitanas da SEINFRA sob a regra da tarifa integrada igual à soma da maior tarifa e da metade da menor. Entretanto, estes sistemas municipais não possuem, atualmente, regras de integração uns com os outros e, tampouco, foram consideradas regras do tipo nos cenários otimistas.

Além disso, nesse cenário otimista também se ampliou uma regra para o metrô, na qual a tarifa integrada entre alguma linha alimentadora do terminal (seja municipal ou metropolitano) e o metrô não deve ser maior que a tarifa da troncal daquele respectivo terminal. Ou seja, se a troncal que opera no Terminal Vilarinho tem uma tarifa de R\$ 5,85, a tarifa integrada entra alimentadora e metrô não deve ultrapassar esse valor.

# 5.5. PILOTO DE RACIONALIZAÇÃO EM NÍVEL MUNICIPAL: SANTA LUZIA

Por meio de uma metodologia que considerou a oferta de serviços lançada nos links da rede de simulação, a Etapa 1 identificou uma elevada sobreposição entre os sistemas metropolitano e os diferentes sistemas municipais da RMBH. A sobreposição entre sistemas resulta em concorrência muitas vezes improdutiva, uma vez que há serviços muito similares sob a gestão de entidades de níveis governamentais distintos e não há concatenação do planejamento da operação, o que gera maiores custos e menor eficiência.

Nesse contexto, entendeu-se ser essencial apresentar diretrizes e orientações para que os municípios da RMBH, em conjunto com a SEINFRA, reorganizem seus sistemas de transporte, hierarquizando-os em uma estruturação tronco-alimentada. Nesta hierarquia, os serviços que possuem seu trajeto inserido no território municipal, notadamente os serviços estruturantes municipais e a rede de alimentação, tanto dos terminais municipais quanto dos metropolitanos, devem ser geridos pela administração pública municipal.

Como o município de Santa Luzia manifestou interesse em ser objeto de estudo no piloto de racionalização, foram realizadas reuniões durante os meses de novembro de 2021 e janeiro de 2022 para alinhamento com a Prefeitura, a SEINFRA e as empresas operadoras.

O diagnóstico do sistema de transporte coletivo em Santa Luzia demonstrou que atualmente há sobreposição de sistemas em 60% da rede. Ademais, observou-se que há pouca oferta de linhas entre muitos bairros de Santa Luzia e destes com bairros limítrofes de Belo Horizonte, que possuem forte relação de vizinhança. Embora as distâncias percorridas sejam curtas, essas linhas possuem tarifas relativamente altas, as quais não são competitivas em relação aos demais modos de transporte, em especial a motocicleta e o automóvel.

# 5.5.1. DINÂMICA DE CIRCULAÇÃO

Com o objetivo de avaliar a relação entre oferta e demanda e propor uma rede de transporte adequada às necessidades da população, foi desenvolvida uma análise das linhas de desejo resultantes das matrizes origem-destino de bilhetagem eletrônica e de telefonia (apresentadas respectivamente nos itens 2.3 e 2.4). Para realizar essa análise foi criado um zoneamento específico, mantendo as zonas de Santa Luzia desagregadas, mas agregando as demais zonas da RMBH em macrozonas ou criando zonas específicas para identificar importantes atendimentos em transporte coletivo, como é o caso do eixo do metrô.

A Figura 58 apresenta as linhas de desejo com origem no Centro Histórico/Novo Centro. Observa-se que enquanto na OD SBE o principal destino é o eixo de influência do metrô de Belo Horizonte, na OD Pessoas o principal destino é interno ao município de Santa Luzia, na região da Sede, bem como à Vila Olga/Padre Miguel e ao São Benedito. Há um expressivo volume de viagens de curta distância que estão sendo realizadas em modos como o automóvel e a motocicleta.

Ribeirão das Neves OD SBE (2019) Linhas de Desejo 8,5k 3,8k 1,0k Ribeirão das Neves 3,7k **OD Pessoas** (2019) 1,6k Linhas de Desejo 10k 4,0k Nova Vista 2,0k 1 1,0k Belo Horizonte

Figura 58: Viagens originadas no Centro Histórico/Novo Centro (Santa Luzia) nas matrizes e OD SBE (2019) e OD Pessoas (2019)

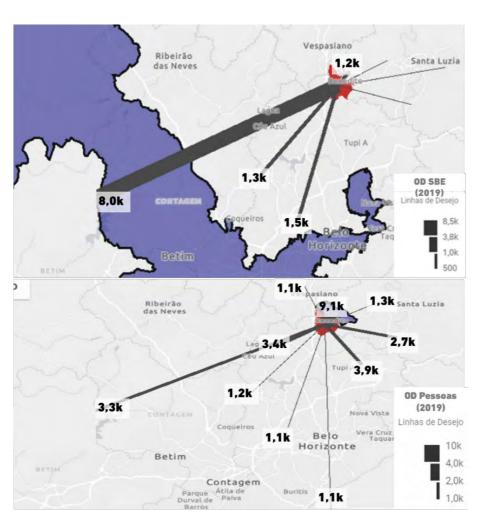
A Figura 59 apresenta as linhas de desejo com origem na Vila Olga/Padre Miguel. Observa-se que na OD SBE o principal destino é o eixo de influência do metrô de Belo Horizonte e, por outro lado, na OD Pessoas o principal destino é interno ao município de Santa Luzia, especialmente à Região da Sede e ao São Benedito. É possível inferir que estas viagens de curta distância utilizam o automóvel e a motocicleta como principais modos de transporte.

Santa Luzia 507 687 Céu Azul 629 OD SBE 603 (2019) 3.8k 500 Ribeirão 2,0k Lagoa Céu Azul Tu 2,7k **OD** Pessoas Linhas de Desejo Nova Vista 10k 1,9k 4,0k Coqueiros Vera Cruz Taquari 2,0k Belo 1,0k Horizonte

Figura 59: Viagens originadas na Vila Olga/Padre Miguel (Santa Luzia) nas matrizes e OD SBE (2019) e OD Pessoas (2019)

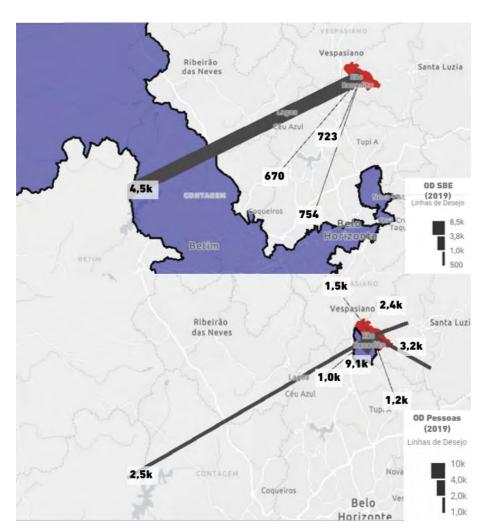
A Figura 60 apresenta as viagens com origem no São Benedito (Santa Luzia). Observa-se que na OD SBE o principal destino é o eixo de influência do metrô de Belo Horizonte, na OD Pessoas o principal destino é interno ao município de Santa Luzia, para a porção norte de São Benedito, além de para outras regiões limítrofes, tais como as regionais Norte e Venda Nova de Belo Horizonte. Assim como a figura anterior, também há um grande volume de viagens de curta distância na OD Pessoas.

Figura 60: Viagens originadas no São Benedito (Santa Luzia) nas matrizes e OD SBE (2019) e OD Pessoas (2019)



A Figura 61 apresenta as viagens com origem na porção norte de São Benedito. Observa-se que na OD SBE os principais destinos são no município de Belo Horizonte, sendo o eixo de influência do metrô de Belo Horizonte, a regional Noroeste, a estação de metrô Vilarinho e a estação Pampulha. Por outro lado, na OD Pessoas o principal destino é a porção norte de São Benedito setor norte e o bairro São Benedito, além dos bairros Vila Olga/Padre Miguel.

Figura 61: Viagens originadas ao norte de São Benedito (Santa Luzia) nas matrizes e OD SBE (2019) e OD Pessoas (2019)



A Figura 62 apresenta as viagens com origem na região Sede de Santa Luzia. Observa-se que na OD SBE o principal destino é o eixo de influência do metrô de Belo Horizonte, Centro Histórico/Novo Centro, Metrô São Gabriel e São Benedito. Já na OD Pessoas o principal destino é Vila Olga/Padre Miguel.

Ribeirão das Neves

1.8k

CONTAGEM

Coqueiros

Ribeirão das Neves

1.8k

CONTAGEM

Coqueiros

Ribeirão das Neves

Ribeirão das Neves das Ribeirão d

Figura 62: Viagens originadas na sede de Santa Luzia (exceto Centro Histórico e Novo Centro) nas matrizes e OD SBE (2019) e OD Pessoas (2019)

A Figura 63: Viagens originadas na zona rural de Santa Luzia nas matrizes e OD SBE (2019) e OD Pessoas (2019) apresenta as viagens com origem na Zona Rural de Santa Luzia. Observase que na OD SBE o principal destino é o eixo de influência do metrô de Belo Horizonte. Já na OD Pessoas o principal destino é a região central de Santa Luzia e com algumas poucas viagens para Lagoa Santa e Vespasiano. O volume de viagens com origem nessa zona é baixo, o que é explicado pela baixa densidade populacional dessa região.

Fortuna de Branco Minas eirão das Santa Luz 115 Florestal Sabará Leme Branco Pedro Lagoa Santa 150 Taquaraçu de Minas Ribeirão das 157 aldas 592 Neves 135 Caeté Sabará Belo Horizonte Betim Contagem Nova Lima

Figura 63: Viagens originadas na zona rural de Santa Luzia nas matrizes e OD SBE (2019) e OD Pessoas (2019)

# 5.5.2. DIRETRIZES PARA A RACIONALIZAÇÃO

A reorganização da rede de transporte de Santa Luzia foi proposta com base nas seguintes diretrizes:

- Hierarquizar os sistemas metropolitanos e municipais dentro de uma estruturação troncoalimentada, reforçando a função dos serviços locais, sendo a alimentação desempenhada pelo sistema municipal;
- Favorecer integração entre sistemas municipais e metropolitanos, tanto sob o aspecto físico como tarifário, visando a atração de novos passageiros;
- Racionalizar a rede de transporte público, tratando o transporte municipal como responsável pela alimentação e evitando a concorrência entre sistemas e a superposição de serviços de transporte;
- Avaliar a viabilidade do terminal proposto (Terminal Santa Luzia, codificado como P48 no âmbito desse estudo) sob a ótica da demanda<sup>9</sup>;
- Otimizar o sistema de transporte público.

# 5.5.3. PROPOSTAS DE RACIONALIZAÇÃO

Esse capítulo visa apresentar o detalhamento das medidas adotadas na reorganização das redes de transporte de Santa Luzia. Ressalta-se que as proposições apresentadas são fruto de uma análise geral, própria de um plano de mobilidade, de caráter estratégico, com foco nas trocas entre regiões, sem entrar no nível de bairro ou setor. Portanto, as propostas aqui formuladas deverão passar por um processo de validação e ajuste, quando da elaboração do plano operacional, visando sua implantação, momento em que serão detalhadas as propostas de racionalização, que incluem medidas de seccionamento e criação de linhas.

Na Figura 64, pode-se observar as linhas dos sistemas metropolitano e municipal ofertadas em 2019, especificamente, no âmbito do município de Santa Luzia, classificadas de acordo com a função que desempenham e dispostas de maneira a identificar onde há superposição.

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Neste estágio de desenvolvimento dos estudos foi considerada uma localização aproximada para o Terminal Santa Luzia, indicada pela prefeitura nas reuniões iniciais de discussão do projeto. Em janeiro de 2022, contudo, a prefeitura encaminhou o estudo funcional desenvolvido para o terminal, que indica a localização na Avenida Raul Teixeira da Costa Sobrinho. Em função do prazo do estudo, os mapas desse relatório indicam a localização originalmente estudada para o terminal. Ressalta-se, entretanto, que a nova posição do terminal não invalida as propostas apresentadas, pois, ele está mais bem posicionado em relação à previsão inicial que consta nos mapas desse relatório. Assim, o projeto da Prefeitura de Santa Luzia, que detalhará a estruturação dos serviços de transporte coletivo no município, caso incorpore a proposta aqui formulada, deverá ajustar os itinerários apresentados para adequação à circulação de acesso ao terminal.

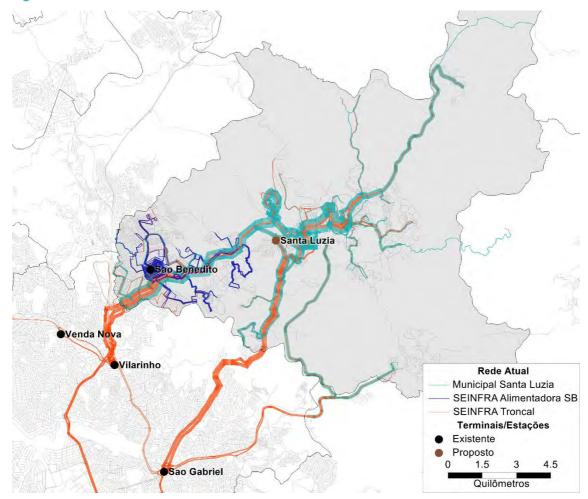


Figura 64: Rede Atual

A seguir são listadas as principais medidas de racionalização propostas no âmbito desse estudo:

- Atualmente, as linhas identificadas na legenda do mapa anterior como SEINFRA Alimentadora SB desempenham a função de alimentação do terminal São Benedito, e seus trajetos estão totalmente inseridos no território do município. Assim, uma das propostas consiste em compatibilizar os trajetos destas linhas com os serviços municipais e passar sua gestão para o município de Santa Luzia.
- As linhas denominadas SEINFRA Troncal que passam pela MG 020 e Avenida Beira Rio assumem uma função estruturadora, que, partindo do novo Terminal Santa Luzia, realizam uma ligação troncal com o Terminal São Gabriel, conectando neste local com os sistemas de metrô e do BRT da RMBH. Dessa maneira, a maior parte dos bairros localizados a montante do Terminal Santa Luzia, que hoje são atendidos por essas linhas, passarão a exercer uma função troncal e serão atendidos por linhas alimentadoras municipais do Terminal Santa Luzia. As linhas que se superpunham nesses eixos devem ser unificadas, de acordo com os trajetos coincidentes, e otimizadas em atributos de oferta (headway, número de viagens e frota), visando a melhoria da produtividade, a partir do aumento da capacidade e com redução de custos, e aumentar a atratividade dos serviços.

- As linhas denominadas SEINFRA Troncal, que atendem a região do Bonanza e passam pela Avenida Brasília, permanecerão na rede proposta como linhas metropolitanas.
- As linhas municipais deverão ser revisadas e unificadas, dentro de trajetos coincidentes entre si, que maioritariamente irão alimentar o Terminal Santa Luzia, bem como as que se superpõem com as linhas geridas pela SEINFRA, alimentadoras do Terminal São Benedito.

Ressalta-se que os serviços foram propostos de maneira a atender os principais movimentos identificados nas linhas de desejo, apresentadas no capítulo 5.5.1. Tais propostas são apresentadas na Tabela 20.

Na Figura 65 é possível observar as modificações propostas, principalmente a otimização da superposição das linhas nos principais corredores da cidade.

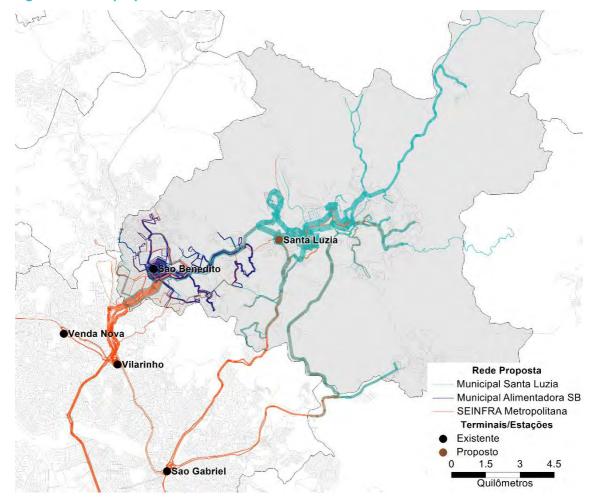


Figura 65: Rede proposta

Fonte: Elaboração própria, 2021.

A Tabela 20 apresenta as propostas de racionalização para as redes municipal e metropolitana de Santa Luzia, com proposta de criação de novas linhas, bem como troncalização e alimentação, por meio de propostas de seccionamento. As linhas mantidas não constam dessa tabela.

Tabela 20: Propostas de racionalização para a rede de Santa Luzia

LINITA	CICTEMA	ALTERAÇÃO	NOME DAG I INHAC DDODOCTAC
LINHA	SISTEMA	ALTERAÇÃO	NOME DAS LINHAS PROPOSTAS
TRAJ9-01	SEINFRA	Linha proposta	TERMINAL SAO BENEDITO/TERMINAL MORRO ALTO
TRAJ8-01	SEINFRA	Linha proposta	SANTA LUZIA / ESTAÇAO VENDA NOVA
04115-01	SEINFRA	Linha Troncal (seccionada)	
04135-01	SEINFRA	Linha Troncal (seccionada)	
TRAJ1-01	Santa Luzia	Linha proposta	TERMINAL SANTA LUZIA/CONVENTO DE MACAÚBAS
TRAJ2-01	Santa Luzia	Linha proposta	FRIMISA/BARREIRO DO AMARAL
TRAJ3-01	Santa Luzia	Linha proposta	IGREJA MATRIZ/TERMINAL SAO BENEDITO
TRAJ4-01	Santa Luzia	Linha proposta	IGREJA MATRIZ/TERMINAL SAO BENEDITO (VIA TERM SANTA LUZIA)
00113-01	Santa Luzia	Linha alimentadora (seccionada)	
00213-01	Santa Luzia	Linha alimentadora (seccionada)	
00413-01	Santa Luzia	Linha alimentadora (seccionada)	
00413-03	Santa Luzia	Linha alimentadora (seccionada)	
00513-01	Santa Luzia	Linha alimentadora (seccionada)	
00513-03	Santa Luzia	Linha alimentadora (seccionada)	
00613-02	Santa Luzia	Linha alimentadora (seccionada)	
00713-01	Santa Luzia	Linha alimentadora (seccionada)	
00713-03	Santa Luzia	Linha alimentadora (seccionada)	
00813-03	Santa Luzia	Linha alimentadora (seccionada)	
00913-02	Santa Luzia	Linha alimentadora (seccionada)	
00913-03	Santa Luzia	Linha alimentadora (seccionada)	
00913-06	Santa Luzia	Linha desativada	
0SC01-03	Santa Luzia	Linha desativada	
00813-01	Santa Luzia	Linha desativada	
0SC02-02	SEINFRA	Linha desativada	
04105-01	SEINFRA	Linha desativada	
04145-01	SEINFRA	Linha desativada	
04155-01	SEINFRA	Linha desativada	
04381-01	SEINFRA	Linha desativada	
04435-01	SEINFRA	Linha desativada	
04156-01	SEINFRA	Linha desativada	
04100-01	SEINFRA	Linha desativada	
04125-01	SEINFRA	Linha desativada	
04185-01	SEINFRA	Linha desativada	
04211-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04225-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	

LINHA	SISTEMA	ALTERAÇÃO	NOME DAS LINHAS PROPOSTAS
04240-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04245-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04260-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04280-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04295-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04300-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04305-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04315-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04335-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04345-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04355-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04360-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04370-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04375-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	
04405-01	SEINFRA	Gestão de Santa Luzia	

Os mapas a seguir ilustram as linhas propostas em complemento à rede existente.

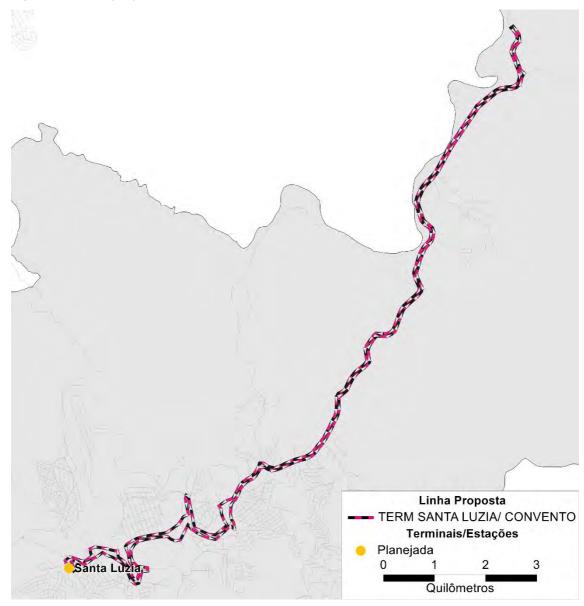


Figura 66: Linha proposta Terminal Santa Luzia/Convento

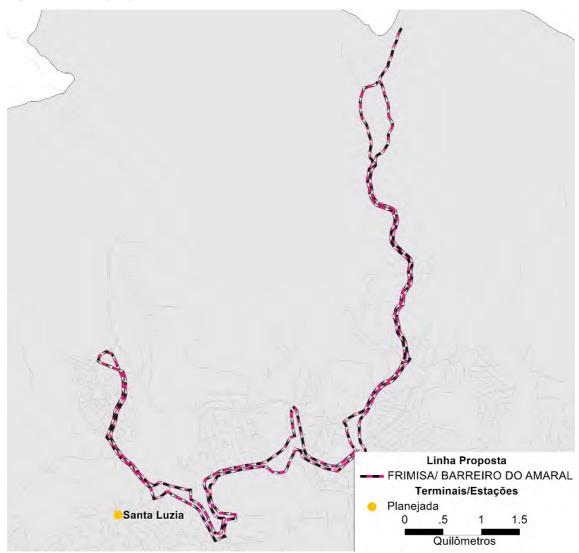


Figura 67: Linha proposta Frimisa/Barreiro do Amaral

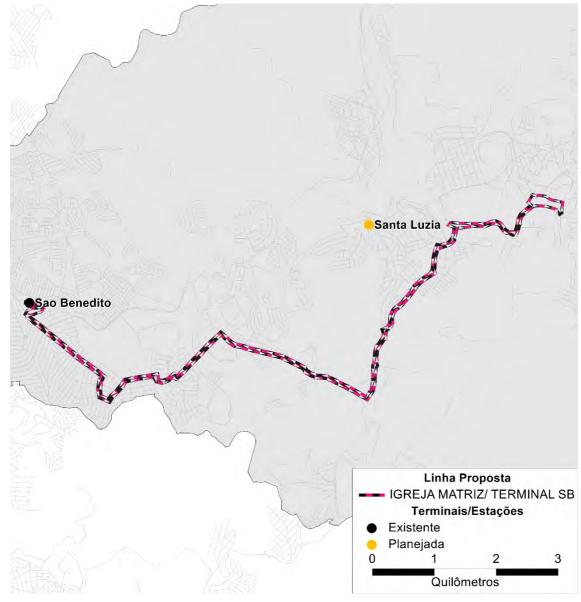


Figura 68: Linha proposta Igreja Matriz/Terminal São Benedito

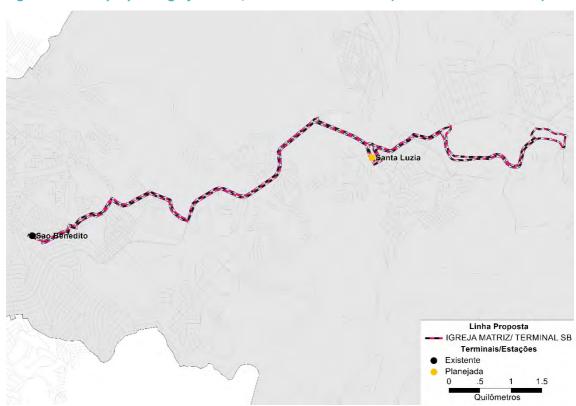


Figura 69: Linha proposta Igreja Matriz/Terminal São Benedito (via Terminal Santa Luzia)

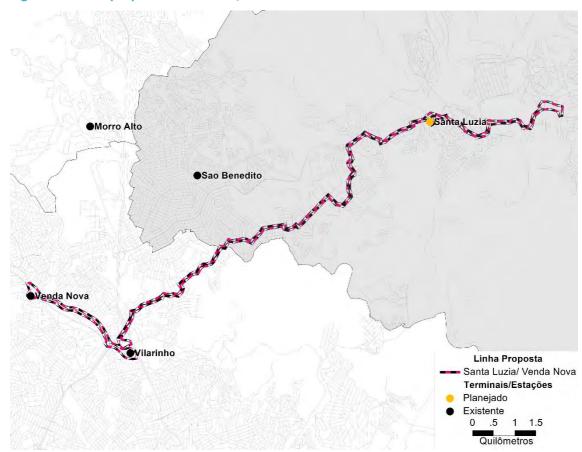


Figura 70: Linha proposta Santa Luzia/Venda Nova

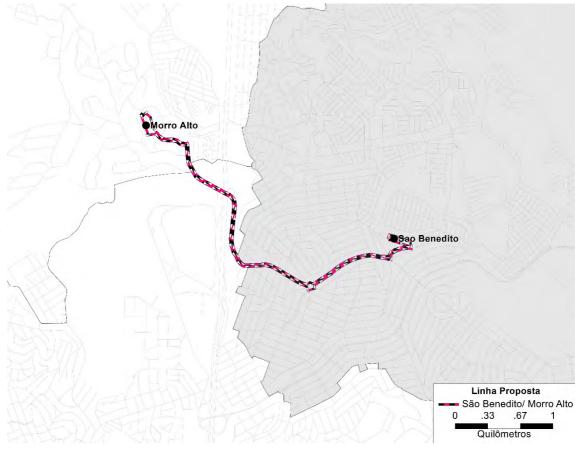


Figura 71: Linha proposta São Benedito/Morro Alto

### 5.5.4. RESULTADOS DO MODELO DE DEMANDA

As propostas de racionalização, apresentadas no subcapítulo anterior, foram discutidas com a Prefeitura de Santa Luzia, a SEINFRA e os operadores, em reunião realizada em 13 de janeiro de 2022. Em seguida, as propostas foram enviadas às instituições que participaram da reunião para que pudessem ser avaliadas.

A rede proposta foi incorporada aos cenários otimistas C1sB, C2usB, e C3usB, em que a integração tarifária é ampliada para incluir integrações entre o sistema municipal e o sistema metropolitano, sob responsabilidade da SEINFRA. Os resultados das simulações, com os impactos para o sistema metropolitano são apresentados no capítulo 8.

Para obter os resultados, a partir do modelo de demanda, inicialmente se faz a migração modal (conforme metodologia apresentada no capítulo 3.4), estimando os efeitos de cada configuração de oferta no total de demanda de cada par OD. A partir da nova matriz de demanda com os efeitos da migração modal, se faz a alocação na rede de transportes, de forma a estimar os fluxos pela rede.

As simulações demonstraram que, com a reorganização da rede municipal proposta e apresentada nesse relatório, há aumentos de embarques no sistema de Santa Luzia, em relação

ao cenário de referência de 2019 (CoA conforme demonstra a Tabela 21). Este aumento revela o aumento de transferências realizadas pelos usuários, em vista do seccionamento de linhas proposto e a transferência das linhas alimentadoras metropolitanas, que estão totalmente inseridas no território de Santa Luzia, para o sistema municipal.

Já com a migração modal, os cenários com a reorganização de linhas podem promover aumentos da demanda ainda mais significativos nos embarques, para curto, médio e longo prazo, respectivamente, em comparação com cenário de referência de 2019 (CoA). Esses resultados revelam o alto potencial de atração de demanda que a reestruturação da rede de transportes municipal de Santa Luzia possui.

O aumento expressivo da demanda de transporte público devido à migração traduz a eficiência da reorganização da rede na redução significativa dos tempos de viagem em Santa Luzia (Figura 80) e na redução das tarifas pagas pelos usuários (Figura 79), cujas transferências são favorecidas pela integração tarifária entre sistemas. Com a reorganização das linhas, os ganhos de tempo variam entre o e 10 minutos no cenário de curto prazo, e ultrapassam 10 minutos no cenário de longo prazo, enquanto as tarifas são reduzidas em média entre R\$0,00 e R\$2,00 reais na maioria das zonas de Santa Luzia, tornando o transporte público uma oferta bastante atrativa em relação a outros modos de transporte. Esses indicadores são apresentados em maior detalhe no item 5.5.4.4.

Tabela 21: Embarques Santa Luzia - cenários de reestruturação

Sistema	CoA	C1	sB	C21	ısB	Сзі	ısB
	SemMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr
Santa Luzia	2.942	8.048	17.181	6.260	14.862	5.525	14.369

Fonte: Elaboração própria, 2021.

## 5.5.4.1. EFEITOS DA MIGRAÇÃO

Os mapas da Figura 72 apresentam as taxas de variação de demanda decorrentes da migração modal, por origens, para os cenários C1sB, C2usB e C3usB. Para promover uma análise mais apropriada, o mapa de densidade populacional permite correlacionar os efeitos da migração e a população por zona.

Percebe-se o aumento da migração modal na região de Santa Luzia, resultado das propostas de readequação da rede de transportes e criação de regras de integração entre os sistemas municipal e metropolitano. Há aumento da migração modal principalmente próximo ao Terminal Santa Luzia e à leste do terminal, onde a rede de transportes se caracteriza, de maneira geral, por alimentar o terminal proposto. Nestas zonas a migração modal é mais significativa pois são zonas mais adensadas do que as regiões ao norte, as quais são apresentam características rurais e menor densidade populacional.

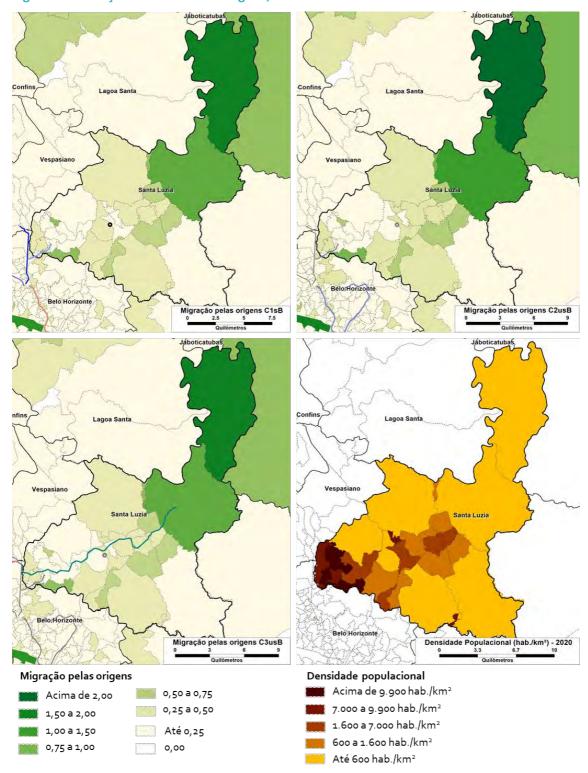


Figura 72: Variação no número de origens, com foco em Santa Luzia

Observação: os mapas de migração apresentam os projetos que foram estudados no âmbito desse estudo e que estão localizados em Santa Luzia e seu entorno. A relação dos projetos considerados em cada horizonte de estudo é apresentada no capítulo 6.

# 5.5.4.2. DIFERENÇAS DE CARREGAMENTO

Os mapas da Figura 73, Figura 74 e Figura 75 apresentam a diferença de carregamento (volume de passageiros) dos cenários de reorganização da rede de Santa Luzia (C1sB, C2usB e C3usB) com as configurações sem a reorganização da rede, porém com a integração tarifária entre o sistema metropolitano e os sistemas municipais (C1B, C2B e C3B, respectivamente).

Percebe-se que a reorganização das linhas aumentou os carregamentos de maneira geral, para todos os horizontes analisados. Este efeito é provocado pela racionalização das linhas, com traçados mais diretos para os principais pares de origem/destinos de viagens do município, bem como pelo aumento da migração modal advindo da reorganização. As vias em que houve diferença negativa são aquelas em que houve racionalização, ou seja, redução da superposição das linhas, como por exemplo na região do Frimisa e MG-020. No C3usB, a diferença é negativa no eixo da Linha C devido à desativação dela em relação ao cenário C3B. É válido ressaltar o aumento do carregamento nos eixos em que há propostas de linhas novas (ver Figura 66 a Figura 70, no item 5.5.3).

Diferença de carregamento
C1sB com migração 2027
Positiva
Negativa
Diferença absoluta de carregamento
C1sB com migração 2027
Positiva
Negativa
Diferença absoluta de carregamento
C1sB com migração 2027

30000 15000 0
0 2.5 5 7.5
Quilômetros

Figura 73: Diferença de carregamento do cenário C1sB em comparação ao cenário C1B, com foco em Santa Luzia

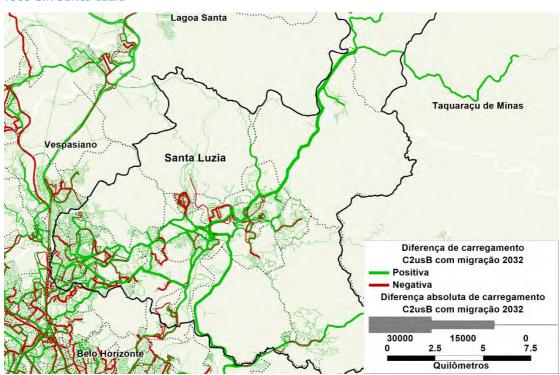


Figura 74: Diferença de carregamento do cenário C2usB em comparação ao cenário C2B, com foco em Santa Luzia

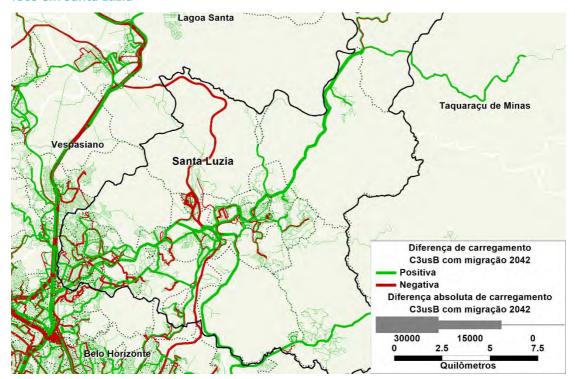


Figura 75: Diferença de carregamento do cenário C3usB em comparação ao cenário C3B, com foco em Santa Luzia

#### 5.5.4.3. CARREGAMENTO

O carregamento representa o volume de passageiros da rede de transporte público transportados nos links da base viária no horário de pico da manhã, entre 5:00 e 7:59 horas. O carregamento para cada um dos horizontes analisados é apresentado nos mapas a seguir (Figura 76, Figura 77 e Figura 78).

O trecho mais carregado é, para todos os horizontes de análise, na MG-o2o sentido Belo Horizonte. Durante as três horas consideradas na simulação, são cerca de 4.000 passageiros no horizonte de curto prazo, e cerca de 5.000 passageiros para os horizontes de médio e longo prazo. A MG-o2o é o eixo mais importante de conexão de Santa Luzia, posto que é a conexão entre a rede municipal com o terminal São Gabriel. Assim, é esperado que este seja o eixo de maior carregamento.

Destaca-se que o projeto de BRS Diametral previsto para o longo prazo não atraiu demanda significativa. Esse projeto passa pelo eixo da Av. Raul Teixeira da Costa Sobrinho, para qual está prevista a implantação do Terminal Santa Luzia, de acordo com estudo funcional disponibilizado em janeiro de 2022. Ademais, conforme será apresentado no item 5.5.5, a velocidade média dos ônibus na via levantada é de cerca de 17 km/h. O indicador de tempo no veículo, apresentado no item 5.5.4.4.3 demonstrou os impactos positivos da implantação desse projeto para os ganhos de velocidade na via. Assim, apesar da simulação do projeto não indicar uma atração de demanda significativa, é recomendável que o projeto seja mantido dentre as propostas, devendo ser avaliada a necessidade tanto da antecipação de sua implantação

quanto da revisão das premissas deste projeto para melhor atender às demandas do município quando da elaboração do plano operacional e dos estudos de implantação do novo terminal.

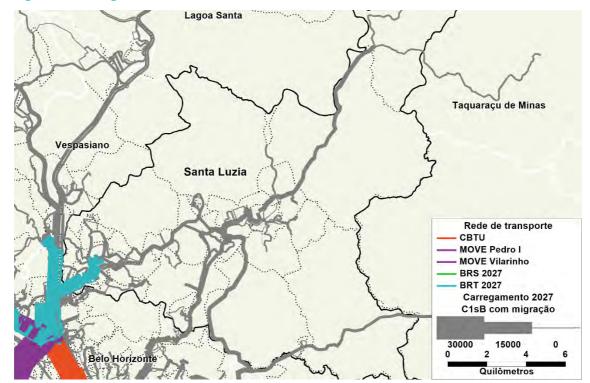


Figura 76: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C1sB, com foco em Santa Luzia

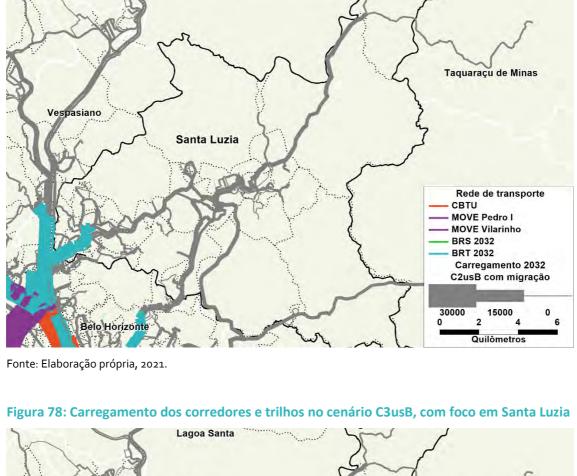
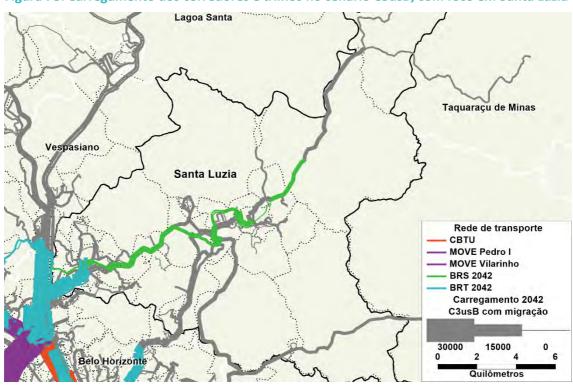


Figura 77: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C2usB, com foco em Santa Luzia

Lagoa Santa



#### 5.5.4.4. INDICADORES

Neste item apresenta-se a variação, para cada zona de transporte, dos principais indicadores em cada horizonte nos cenários que incluem a reestruturação da rede de transportes em Santa Luzia. São considerados apenas os cenários sem migração modal.

#### 5.5.4.4.1. TARIFA

A variação absoluta (em relação ao cenário de referência CoA) da tarifa média, por zona de origem, para cada cenário, é apresentada nos mapas da Figura 79, a seguir.

Com a evolução dos horizontes de análise, há uma zona, na parte leste do município, em que a redução de tarifa média é menos impactante nos cenários de longo (C3usB) e médio (C2usB) prazo do que para o cenário de curto prazo (C1usB).

Ademais, entre os cenários C2usB e C3usB, há três regiões em que a tarifa média aumenta: uma localizada no Distrito Industrial do município e duas próximas ao terminal São Benedito. Isso pode ser explicado a partir da adequação da rede para atender a Linha 3. Nesse cenário, as linhas que anteriormente atendiam até o centro de Belo Horizonte são seccionadas na Estação Pampulha. Este efeito pode ser minimizado com ajustes nas regras da política de integração tarifária quando da implantação da extensão da Linha 3 até a Pampulha.

Jabolicatubas

Sap José da Lipa

Sapa Santa

Taquaraçu de Minas

Sap José da Lipa

Verpanamo

Santa Ligas

Sabara

Sapa Santa

Taquaraçu de Minas

Sapa José da Lipa

Verpanamo

Santa Ligas

Sabara

Sapa Santa

Jabolicatubas

Taquaraçu de Minas

Sapa José da Lipa

Jabolicatubas

Taquaraçu de Minas

Sabara

Sabara

Jabolicatubas

Taquaraçu de Minas

Figura 79: Variação da tarifa pelas origens em comparação ao cenário de referência COA, com foco em Santa Luzia

#### 5.5.4.4.2. TEMPO TOTAL

A variação absoluta (em relação ao cenário de referência CoA) do tempo total médio, por zona de origem, para cada cenário, é apresentada nos mapas da Figura 80, a seguir.

Ao longo dos horizontes, há melhoria no tempo total de viagem. No cenário de longo prazo, C3usB, com a implantação do BRS dentro do limite do município, a melhoria é ainda mais significativa.

Há duas regiões em que há piora do tempo total de viagem em relação ao cenário de referência CoA. Isso pode ser explicado com a proposta de seccionamento das linhas dessa região no terminal proposto. Ainda assim, para essas regiões, é prevista melhoria do tempo de espera dos usuários, provocada pelo aumento de frequência de veículos.

Confines

Lagios Santa

Verposignor

Santa Light

Variação do tempo total C1sB pelas origens

2 santa Light

Variação do tempo total C2usB pelas origens

3 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

3 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

3 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

3 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo total C3usB pelas origens

5 santa Light

Variação do tempo

Figura 80: Variação do tempo médio de viagens pelas origens em comparação ao cenário de referência COA, com foco em Santa Luzia

#### 5.5.4.4.3. TEMPO NO VEÍCULO

A variação absoluta (em relação ao cenário de referência CoA) do tempo no veículo médio, por zona de origem, para cada cenário, é apresentada nos mapas da Figura 81, a seguir.

Analogamente ao tempo de viagem total, ao longo dos horizontes de análise há melhoria no tempo embarcado no veículo. Com a implantação do BRS Diametral no horizonte de longo prazo (C3usB), essa melhoria é ainda mais significativa.

Há apenas duas regiões em que há piora do tempo total de viagem em relação ao cenário de referência CoA. Isso pode ser explicado com a proposta de seccionamento das linhas que atendem essa região no terminal proposto.

Confins

Lagos Santa

Verpasiano

Santa Lizis

Verpasiano

Santa Lizis

Santa Lizis

Santa Lizis

Verpasiano

Santa Lizis

Santa Lizis

Santa Lizis

Inferior a -10 minutos

Entre -10 e -5 minutos

Entre -0 e -3 minutos

Entre -0 e -5 minutos

Entre -0 e -3 minutos

Entre -0 e -5 minutos

Entre -0 e -3 minutos

Figura 81: Variação do tempo médio no veículo pelas origens em comparação ao cenário de referência COA, com foco em Santa Luzia

# 5.5.5. RECOMENDAÇÕES PARA PROJETOS DE INFRAESTRUTURA

É essencial que, além de reorganizar a rede, sejam executadas melhorias na infraestrutura de transporte coletivo, permitindo que os ônibus circulem com maior velocidade, tornando o transporte público uma alternativa mais atrativa para a população. Proposições dessa natureza não foram objeto de estudo detalhado no âmbito desse trabalho, mas, são apresentadas com o objetivo de orientar a Prefeitura de Santa Luzia, conforme recomendação da SEINFRA e da Agência Metropolitana, visando fornecer subsídios para o desenvolvimento do Plano de Mobilidade Municipal.

Para orientar o foco das melhorias na infraestrutura viária, foi realizado um levantamento das velocidades médias do transporte coletivo por ônibus no pico do serviço (Figura 82 e Figura 83). As velocidades apresentadas foram obtidas por meio de tratamento dos registros do sistema de rastreamento dos ônibus via GPS do dia 19 de novembro de 2019. A velocidade em cada link da base viária corresponde à média de todas as linhas que passam pelo trecho analisado. A velocidade de cada linha foi estimada utilizando-se o sequenciamento de pontos de GPS de cada linha, e, por isso, considera as especificidades de cada rota. As velocidades foram calculadas individualmente por viagem de cada linha em operação, buscando identificar as

diferenças por trecho dos trajetos. Em seguida, foram utilizadas apenas as viagens realizadas durante o período de pico da manhã, usado na simulação, para compor a média das velocidades inseridas na base viária. Para garantir um resultado mais coerente, foram excluídas do cálculo as velocidades menores que 5km/h e maiores que 90km/h, uma vez que ambos os extremos podem representar erros de precisão do GPS ou o acontecimento de algum evento atípico que não caracteriza a velocidade rotineira de um determinado trecho.

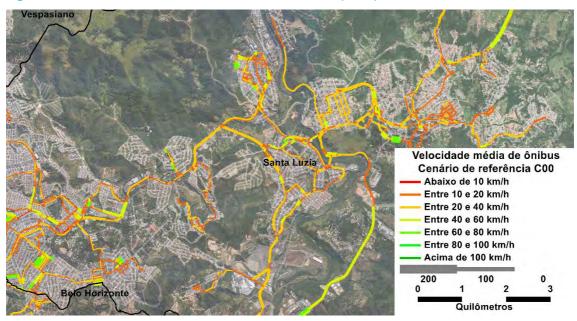


Figura 82: Velocidade média de ônibus em Santa Luzia (2019)

Fonte: Elaboração própria, 2021.

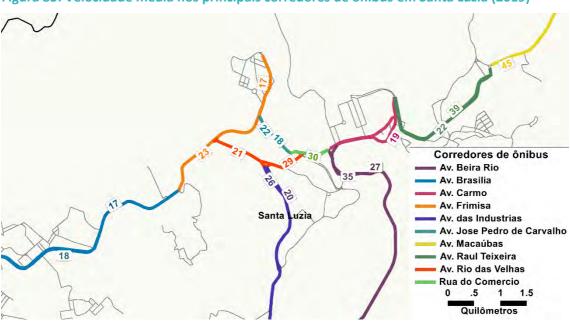


Figura 83: Velocidade média nos principais corredores de ônibus em Santa Luzia (2019)

A Tabela 22 apresenta a velocidade média extraída para os corredores de transporte coletivo de Santa Luzia, diferenciando os sentidos das vias conforme as direções: Norte-Sul ou Leste-Oeste; e Sul-Norte ou Oeste-Leste.

Tabela 22: Velocidade média dos corredores de transporte coletivo em Santa Luzia (2019)

Corredor	N-S/L-O	S-N/O-L
Av. Beira Rio	35,0	27,3
Av. Brasília	17,2	17,7
Av. do Carmo	21,9	19,3
Av. Frimisa	17,2	23,3
Av. Indústrias	26,4	19,9
Av. Jose Pedro de Carvalho	17,6	22,0
Av. Macaúbas	44,6	38,5
Av. Raul Teixeira	17,7	20,7
Av. Rio das Velhas	28,9	21,2
Rua Comércio	19,4	30,0

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Observa-se que as velocidades são mais baixas nos corredores de maior movimentação de ônibus, notadamente: Av. Brasília, Av. do Carmo, Av. Frimisa, Av. José Pedro de Carvalho e Av. Raul Teixeira, com velocidades médias inferiores a 20 km/h no pico manhã. Ressalta-se que as velocidades levantadas na Av. Macaúbas e Av. Beira Rio são relativamente altas em função de suas características rodoviárias. Para fins comparativos, o Manual de BRT (Brasil, 2016, p. 84) considera como satisfatórias velocidades entre 20 e 30 km/h para sistemas BRT, contudo não menciona a velocidade ideal para sistemas convencionais. Ademais, de acordo com o Balanço Anual da Mobilidade de Belo Horizonte (2019, p. 120), a velocidade geral do sistema da capital é de 15 km/h, considerando a média entre os anos de 2014 e 2018.

Importante ressaltar que o corredor da Av. Brasília, que apresenta velocidades de aproximadamente 17 km/h, foi simulado como BRT, com previsão de implantação no horizonte de curto prazo previsto nesse estudo (projeto codificado como P46), conforme apresentado no item 6.1. Este corredor havia sido considerado desde a Etapa 1 em função de sua relevância no âmbito metropolitano e por se tratar da principal ligação do município com as demais regiões da RMBH.

Tal relevância regional da Avenida Brasília já havia levado à elaboração do Projeto Executivo de Infraestrutura do sistema viário de ligação do Terminal São Benedito, em 2014. Desenvolvido pelo extinto Departamento de Obras Públicas do Estado de Minas Gerais (DEOP), o projeto contemplava a adequação de 2,6 km de extensão da Avenida Brasília, com a dedicação de faixas exclusivas junto ao canteiro central, no intuito de receber o sistema BRT MOVE metropolitano, conforme extrato apresentado na Figura 84, em que é representada a sinalização viária de um trecho do projeto.

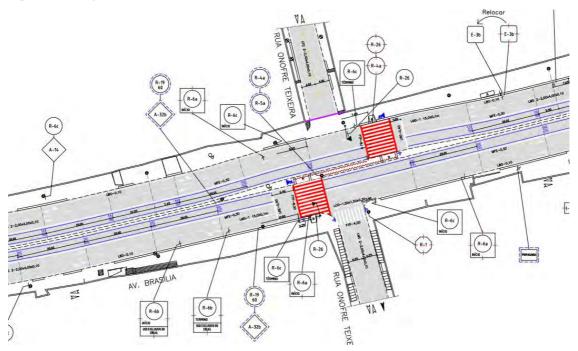


Figura 84: Projeto executivo de faixas exclusivas na Avenida Brasília (2014)

Fonte: Systra, 2014. Editada pelo autor.

Embora o projeto tenha previsto as faixas exclusivas, as estações do sistema BRT MOVE foram inseridas contando apenas com baias nas paradas e restrição de estacionamento para o transporte privado nesses pontos, como ilustra a Figura 85:



Figura 85: Operação atual do sistema BRT MOVE na Avenida Brasília

Fonte: Google Earth, 2022. Editada pelo autor.

A configuração atual do sistema na Avenida Brasília, que funciona com faixa exclusiva apenas no entorno imediato das estações, como ilustrado na figura anterior, justifica as baixas velocidades no trecho em questão, uma vez que os ônibus precisam disputar o espaço com o tráfego individual em uma via de alta demanda. Portanto, a aplicação do projeto contendo as faixas exclusivas ao longo de toda extensão do corredor é de suma importância para a priorização do sistema de transporte coletivo na via, podendo não só melhorar a velocidade do sistema, mas também a segurança viária, uma vez que as baias para a parada de ônibus nas estações foram implantadas nas faixas de tráfego mais rápidas do corredor (faixas da esquerda) e podem surpreender os motoristas que trafegam pela via. As adequações do caminhamento de pedestres, mobiliário urbano e semaforização são outras medidas previstas no projeto que podem melhorar substancialmente a operação no trecho.

Um dos grandes paradigmas para a priorização do transporte coletivo em corredores urbanos, e que talvez possa justificar a solução adotada para a Avenida Brasília, é a necessidade de supressão das vagas públicas de estacionamento. Umas das queixas comumente apresentadas é a dificuldade de acesso aos empreendimentos às margens do corredor, em especial pelos clientes que utilizam o transporte individual. Todavia, cumpre salientar que, muitas vezes, essas vagas são de ocupação de longa duração, ou seja, utilizadas pelos próprios comerciantes que deixam seus veículos durante todo o horário de expediente. A escolha pela priorização do

transporte coletivo exige quebra de paradigmas: é fundamental que a qualidade do transporte coletivo não seja prejudicada para facilitar a circulação e o estacionamento irrestritos, priorizando o transporte privado, cujos veículos poderiam estacionar a poucos metros de seu destino, em vias transversais ao corredor.

A oferta excessiva de vagas de baixo custo induzem ao uso do transporte individual pois, quanto mais barata, acessível e próxima do destino for a vaga de estacionamento, mais cômoda é a adesão ao transporte individual em detrimento do transporte público, resultando em congestionamentos, acidentes e poluição. Assim, a implantação de uma política de estacionamentos restritiva e que estimule a rotatividade das vagas é algo necessário no processo de priorização do transporte coletivo urbano. Somada a essa política, outras medidas pertinentes são os bolsões de estacionamentos, sobretudo próximos às estações e paradas do sistema de ônibus.

Quanto aos demais trechos, onde observa-se velocidade operacional insatisfatória, destacam-se as avenidas do Carmo, Frimisa, José Pedro de Carvalho e Raul Teixeira, que juntas compõem um importante corredor que corresponde às travessias urbanas das rodovias MG-433, MG-020 e AMG-145. Há, portanto, uma certa heterogeneidade nesses trechos, que vão desde vias com pistas simples até pista dupla, porém com precariedade ou déficit de infraestrutura em todas elas, sobretudo sob o aspecto do transporte público, marcado pela ausência ou má qualidade das calçadas em boa parte dos trechos, ausência de medidas de prioridade para a circulação dos ônibus, sobretudo nas paradas, escassez de abrigos nos locais de embarque e desembarque de usuários do transporte coletivo, falta de travessias de pedestres seguras, entre outras questões. Como exemplo, pode-se observar a Av. Raul Teixeira que, embora seja dotada de boa infraestrutura para o tráfego de veículos (pista dupla com boa qualidade de asfalto), possua ciclovia e abrigo nos PEDs, a via sofre com a ausência ou descontinuidade das calçadas e falta de demarcação da área de operação dos ônibus junto às paradas, dificultando e desestimulando o acesso ao transporte (Figura 86).



Figura 86: Infraestrutura da Avenida Raul Teixeira

Fonte: Google Earth, 2022.

As vias em questão devem passar por uma reestruturação com foco na priorização do transporte coletivo, que leve em consideração também as demandas do transporte ativo e privado e em que se avalie a possibilidade de ampliação dos trechos em pista simples ou a utilização de binários para a incorporação de faixas exclusivas ao transporte coletivo. Um exemplo desse tipo de estudo é o PAIT - Plano de Ação Imediata no Trânsito.

É recomendável que as vias, onde serão implantadas faixas exclusivas sem segregação física, tenham pelo menos 3 faixas de tráfego, de maneira a deixar no mínimo 2 faixas para acomodação do tráfego geral. Segundo o HCM (Highway Capacity Manual, HRB, 1985), a largura mínima recomendada para a faixa destinada ao transpor te coletivo urbano é de 3,50m, enquanto a ideal é de 3,70m. Para o plano de priorização de do transporte coletivo, destacamse ainda os seguintes pontos a serem avaliados:

- Segregadores físicos (tachões ou outros elementos, Figura 87): esses são essenciais para separação dos ônibus, inibindo a invasão da baixa pelo tráfego misto, garantindo maior confiabilidade do sistema.
- Fiscalização Eletrônica das faixas exclusivas (Figura 87): medida que, somada aos segregadores, evita o uso indevido das faixas dedicadas ao transporte coletivo e garantem sua fluidez.
- Pontos de Embarque e Desembarque (PEDs) (Figura 90): as calçadas onde se localizam os PEDs devem contar com espaço satisfatório destinado à instalação do abrigo, operação de ônibus para embarque e desembarque e circulação de pedestres. É importante que o local seja bem iluminado e conte com informações aos passageiros sobre as linhas, horários e itinerários.

- Implantação de baias nos PEDs (Figura 88): contribuem para melhoria na operação de embarque e desembarque de passageiros, permitindo velocidades operacionais maiores e desobstruindo a faixa de rolamento. O ideal é que sejam pavimentadas com concreto, pois apresenta maior resistência aos esforços dinâmicos provenientes da aceleração e frenagem dos ônibus. O concreto deve ser aplicado em toda a faixa dedicada ao ônibus, sempre que possível.
- Qualificação do entorno (Figura 89): o projeto deve prever travessias seguras e acessíveis, com boa qualidade de pavimento, iluminação e sinalização com acessibilidade universal.
- Programação semafórica: é importante reavaliar a sinalização semafórica existente, de modo a incorporar e priorizar o sistema de transporte coletivo de maneira otimizada e coordenada. A eliminação de conversões à esquerda (eliminando fases semafóricas) e a coordenação semafórica (onda verde) são medidas que auxiliam na conservação de velocidades operacionais satisfatórias.
- Rotina de fiscalização de tráfego: nas vias arteriais e coletoras, que integram o itinerário de serviços de transporte coletivo e que não forem dotadas de fiscalização eletrônica, devem ser monitoradas constantemente com o objetivo de coibir a prática de estacionamento de automóveis nos locais que dificultam a circulação e a parada dos ônibus.

Figura 87: Infraestrutura das faixas exclusivas

Fonte: Cadernos Técnicos para Projetos de Mobilidade Urbana - Sistemas de Prioridade aos Ônibus, elaborado pelo Ministério das Cidades em parceria com a WRI (BRASIL, 2016).

Figura 88: Infraestrutura das baias



Fonte: Cadernos Técnicos para Projetos de Mobilidade Urbana - Sistemas de Prioridade aos Ônibus, elaborado pelo Ministério das Cidades em parceria com a WRI (BRASIL, 2016).

Figura 89: Infraestrutura do entorno



Fonte: Cadernos Técnicos para Projetos de Mobilidade Urbana - Sistemas de Prioridade aos Ônibus, elaborado pelo Ministério das Cidades em parceria com a WRI (BRASIL, 2016).

Sistema de informação aos passageiros

Area de embarque, desembarque e circulação livre de obstáculos

1,20 m [Minimo]

2,40 m [Minimo]

Figura 90: Infraestrutura dos PEDs

Fonte: Cadernos Técnicos para Projetos de Mobilidade Urbana - Sistemas de Prioridade aos Ônibus, elaborado pelo Ministério das Cidades em parceria com a WRI (BRASIL, 2016).

Recomenda-se ainda os seguintes materiais de apoio:

- Manual de Sinalização Urbana Circulação Prioritária de Ônibus Critérios de Projeto -Volume 11 (Companhia de Engenharia de Tráfego - CET, 2014);
- Prioridade para o Transporte Coletivo Urbano Relatório Técnico (NTU, 2002);
- Faixas Exclusivas de Ônibus Urbanos Experiências de Sucesso (NTU, 2013);
- Cadernos Técnicos para Projetos de Mobilidade Urbana Sistemas de Prioridade aos Ônibus, elaborado pelo Ministério das Cidades em parceria com a WRI (BRASIL, 2016); e
- Manual de BRT: guia de planejamento (BRASIL, 2016).

Finalmente, sugere-se que o município de Santa Luzia adote medidas de priorização do transporte, com os critérios e observações indicadas nesse capítulo. Como o sistema de transporte é dependente da infraestrutura viária, o município, que já conta com o serviço tronco alimentador do MOVE metropolitano, precisa melhorar sua infraestrutura viária, a fim de aumentar a produtividade e a qualidade dos serviços do BRT. Um plano de engenharia de tráfego, voltado para o transporte público é fundamental para o equilíbrio entre o custo e a qualidade oferecida pelo serviço de transporte. O Plano de Ação Imediata no Trânsito (PAIT),

não só contribui para a melhoria do transporte público, como também promove melhoria do tráfego misto e de pedestres, proporcionando benefícios para todos os usuários da via.

Para melhor exemplificar os benefícios da priorização do transporte coletivo, como medida de aumento da eficiência dos serviços, cita-se o projeto das avenidas Carlos Luz e Dom Pedro II que previu uma velocidade operacional de 25 km/h<sup>10</sup>, correspondendo a uma melhoria de 60% velocidade do sistema. Na prática, os dados de GPS dos ônibus<sup>11</sup> apontam velocidade média de 25 km/h para ambos os corredores. Na região central da capital, que antes da implantação das faixas apresentava velocidade média de 8 km/h, após a implantação dos projetos de melhoria, em 2019, registrou a média de 18km/h, ou seja, uma melhoria de 125%.

Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU). Estudos de BRT no Brasil, 2012, p.
 22.

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Ano de referência 2019.

# 6. HORIZONTES ESTUDADOS

Os projetos levantados na Etapa 2 do estudo foram agrupados por horizonte de implantação, a fim de formatar os cenários analisados pelo modelo de demanda.

Ressalta-se que, ainda que não tenham sido avaliados na Etapa 2 do estudo, alguns projetos da Rede de Mobilidade foram incorporados aos horizontes de implantação a serem apresentados a seguir. A Rede de Mobilidade é uma compilação de projetos desenvolvida pela Agência Metropolitana e que se encontra em fase de consulta, disponível no website da ARMBH para que sejam feitas sugestões e contribuições pela sociedade civil<sup>12</sup>.

#### 6.1. CURTO PRAZO - 2027

Os projetos selecionados para integrar a rede de transporte da RMBH no horizonte de 2027 são apresentados na Tabela 23 e na Figura 91. A escolha desses projetos foi pautada nos resultados da Etapa 2 do presente estudo, que consistiu na Avaliação dos Projetos por meio de uma análise multicritério que considerou 12 indicadores. Outro aspecto importante para a determinação dos projetos de curto prazo foi a previsão de recursos orçamentários para implementação e as informações constantes na mídia sobre alguns projetos, tais como: extensão da Linha 1 e implantação da Linha 2 do metrô; Corredor Amazonas; e, corredores e terminais integrantes ao Sistema Integrado de Mobilidade (SIM), em implantação pelo município de Contagem.

Além dos projetos avaliados na Etapa 2, o projeto do BRT Morro Alto (P53) foi adicionado ao horizonte 2027, após uma análise da Rede de Mobilidade desenvolvida pelo Agência Metropolitana. Este projeto foi considerado essencial por complementar o existente BRT Cristiano Machado até o Terminal Metropolitano Morro Alto, inaugurado em 2014.

A justificativa para a alteração da localização dos projetos Terminal Ferrugem (P11-2) e Terminal General Carneiro (P12-2), que originalmente haviam sido planejados, respectivamente, como Terminal Cidade Industrial e Terminal Alvorada, está apresentada no item 5.4.2.

152

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> Disponível em: http://www.agenciarmbh.mg.gov.br/rede-de-mobilidade/

Tabela 23: Projetos contemplados na rede de transporte estudada a curto prazo (2027)

Código	Nome do projeto	Órgão gestor	Extensão (km)	Estudo original referência
Po1	Linha 1 - Extensão e melhorias	CBTU	30	CBTU
P02	Linha 2 - Metrô (Barreiro-Nova Suíssa)	CBTU	10	CBTU
P11-1	Terminal Betim	SEINFRA	-	PDDI (2011)
P11-2	Terminal Ferrugem*	SEINFRA	-	PDDI (2011)
P12-1	Terminal General Carneiro*	SEINFRA	-	PDDI (2011)
P20	Estação São José	BHTRANS	-	PlanMob BH (2017)
P21	BRS Afonso Pena	BHTRANS	3	PlanMob BH (2017)
P22	BRS N. Senhora do Carmo	BHTRANS	5	PlanMob BH (2017)
P23	Implantação faixas exclusivas/preferenciais nas principais vias de ônibus	BHTRANS	45	PlanMob BH (2017)
P25	BRS Corredor Amazonas	BHTRANS	9	PlanMob BH (2017)
P26	BRS Contorno/Andradas/Assis Chateaubriand	BHTRANS	6	PlanMob BH (2017)
P27	BRS Raja Gabaglia	BHTRANS	6	PlanMob BH (2017)
P34	BRT/BRS Corredor Norte-Sul	TRANSCON	21	SIM Contagem (2020)
P35	BRS Corredor Leste-Oeste	TRANSCON	10	SIM Contagem (2020)
P36	BRS Corredor Ressaca	TRANSCON	9	SIM Contagem (2020)
P39	BRS Corredor Sudoeste	SEINFRA	44	Projeto de Melhoria das Concessões RMBH (2020)
P43	Terminal Darcy Ribeiro	TRANSCON	-	SIM Contagem (2020)
P44	Terminal Ressaca	TRANSCON	-	SIM Contagem (2020)
P46	BRT Av. Brasília (Terminal São Benedito)	SEINFRA	3	DEOP-MG (2014)
P47	BRT LMG-806 (Terminal Justinópolis)	SEINFRA	2	DEOP-MG (2014)
P48	Terminal Santa Luzia	SEINFRA	-	-
P51	Estação Jardim Canadá	SEINFRA	-	-
P <sub>53</sub>	BRT Morro alto	СВТИ	6	Rede de mobilidade ARMBH

<sup>\*</sup>Projetos modificados em relação ao estudo original.

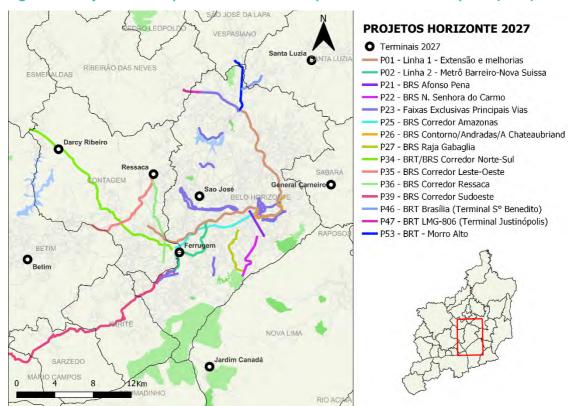


Figura 91: Projetos contemplados na rede de transporte estudada a curto prazo (2027)

### 6.2. MÉDIO PRAZO - 2032

Os projetos selecionados para integrar a rede de transporte da RMBH no horizonte de 2032 são apresentados na Tabela 24 e na Figura 92. São projetos que possuem inegável importância, considerando a análise das linhas de desejo descrita no item 5.3, mas de maior complexidade e para os quais não há previsão orçamentária.

Ressalta-se que o projeto Linha Ribeirão das Neves - Savassi (P10), avaliado na Etapa 2, teve seu traçado e tecnologia modificada. O traçado original, atravessando a mancha urbana de Belo Horizonte, já dotada de infraestrutura, implica em um alto custo de implantação, o que se refletiu no resultado da Avaliação de Projetos apresentada no Produto 6 que evidenciou a fragilidade do projeto original no que se refere à viabilidade econômico-financeira, demonstrada pelos indicadores Capacidade de Cobertura Operacional e Capacidade de Cobertura de Investimento. Assim, após considerar a análise das linhas de desejo apresentada no item 5.3 e, considerando a infraestrutura existente e os demais projetos previstos, propôsse a modificação do projeto. Na Etapa 3, o projeto passa a ser tratado como um corredor de BRT na BR-040, indo desde a interseção com o Corredor Ressaca (P36) e indo até o Terminal Jardim Colonial (P45). Essa proposição também segue a diretriz apresentada pela Rede de Mobilidade desenvolvida pela ARMBH.

Ademais, em Nova Lima foram propostos dois terminais, um a ser localizado na interseção com a Av. Presidente Kennedy (P12-2), que integra a rede de transporte no horizonte de 2032, e outro a ser implantado no entorno imediato do bairro Bom Retiro (P12-3), que integra a rede de transporte no horizonte de 2042. Os esclarecimentos sobre ambos os terminais são apresentados no item 5.4.2.

Tabela 24: Projetos contemplados na rede de transporte a médio prazo (2032)

Código	Nome do projeto	Órgão gestor	Extensão (km)	Estudo original referência
Po <sub>3</sub>	Linha 2 - Metrô (Santa Tereza- Calafate)	СВТИ	5	CBTU
P04-2	Linha 3 - Metrô (Lagoinha-Savassi)	CBTU	4	CBTU
P10	BRT BR-040*	SEINFRA	19	PDDI (2011)
P12-2	Terminal Nova Lima (Pres. Kennedy)*	SEINFRA	-	PDDI (2011)
P24	BRT Cristiano Machado (complemento)	BHTRANS	14	PlanMob BH (2017)
P28	BRT Anel Rodoviário	BHTRANS	22	PlanMob BH (2017)
P29	BRS Barão de Homem de Melo	BHTRANS	5	PlanMob BH (2017)
Рзо	BRS Rota Noroeste	BHTRANS	20	PlanMob BH (2017)
P45	Terminal Jardim Colonial	SEINFRA	-	-
P48	Terminal Santa Luzia	SEINFRA	-	-
P49	Terminal Imbiruçu	SEINFRA	-	-
P50	Terminal Pedro Leopoldo	SEINFRA	-	-

<sup>\*</sup>Projetos modificados em relação ao estudo original.

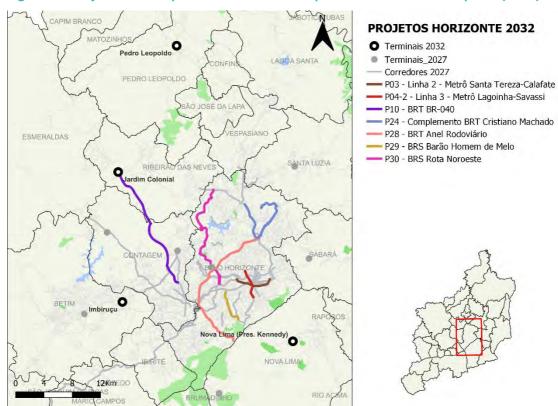


Figura 92: Projetos contemplados na rede de transporte estudada a médio prazo (2032)

#### 6.3. LONGO PRAZO - 2042

Os projetos selecionados para integrar a rede de transporte da RMBH no horizonte de 2042 são apresentados na Tabela 16 e na Figura 93. Este cenário simula todos os projetos levantados na Etapa 1 e avaliados na Etapa 2, exceto aqueles que não foram priorizados no âmbito do transporte coletivo (conforme descrito no item 5.2).

O projeto BRS Céu Azul - Ribeirão das Neves (Po8), avaliado na Etapa 2, teve seu traçado e tecnologia modificada. O traçado original estava sobreposto à existente Linha 1 do metrô (Po1), bem como aos projetos BRS Corredor Sudoeste (P39), Linha do 2 do metrô (Po2), Implantação faixas exclusivas na Rua Padre Pedro Pinto (P23) e BRT Terminal Justinópolis (P47). Ainda, considerando a sua alta pontuação na Avaliação de Projetos (apresentado no Relatório P6), entendeu-se ser importante considerar o projeto, mantendo-se apenas o trecho entre o bairro Céu Azul, em Belo Horizonte, e o município de Ribeirão das Neves. Para tal, propôs-se a implantação de corredor BRS.

O projeto Metrô Leve (P<sub>37</sub>) originalmente se estendia até o hipercentro de Belo Horizonte, contudo, considerando as linhas 1 e 2 do metrô, propôs-se a integração destes na Estação Nova Suíssa, reduzindo assim a extensão do projeto original e otimizando os recursos.

Além disso, após análise das linhas de desejo (descrita no item 5.3), foram incorporados cinco projeto originários da Rede de Mobilidade desenvolvida pela ARMBH (BRS Diametral, BRT Extensão 220, BRT Vera Cruz, BRT Corredor Sul e Trem metropolitano Sabará-Caeté), além da complementação do BRT Anel Intermediário, previsto pelo PlanMob BH e pelo Plano Diretor Municipal de Belo Horizonte.

Os projetos incorporados na rede de longo prazo se caracterizam por sua maior complexidade de implantação - seja no âmbito ambiental ou financeiro - ou pela demanda insuficiente para justificar o investimento a ser realizado. Como este cenário incorpora diversos projetos que não demonstram ser viáveis, a análise deverá ser complementada posteriormente com um cenário adicional, que considere diferentes modificações nos projetos a partir dos resultados da simulação apresentada no capítulo o.

Tabela 25: Projetos contemplados na rede de transporte a curto prazo (2027)

Código	Nome do projeto	Órgão gestor	Extensão (km)	Estudo original referência
Po4-1	Linha 3 - Metrô (Pampulha- Lagoinha)	CBTU	8	СВТИ
Po <sub>5</sub>	Linha 3 - Metrô (Lagoinha- Morro do Papagaio)	CBTU	7	СВТИ
Po8	BRS Céu Azul - Ribeirão das Neves*	SEINFRA	10	PDDI (2011)
P12-3	Terminal Nova Lima (Bom Retiro)	SEINFRA	-	PDDI (2011)
P13	CIT Contagem	SEINFRA	-	PDDI (2011)
P31	Linha A (trilhos)	SEINFRA	51	PEF (2020)
P32	Linha B (trilhos): Estação Horto - Nova Lima	SEINFRA	35	PEF (2020)
P32-1	Extensão da Linha B (trilhos): Nova Lima - Rio Acima	SEINFRA	20	-
P <sub>33</sub>	Linha C - São Gabriel - Pedro Leopoldo	SEINFRA	49	PEF (2020)
P <sub>37</sub>	Metrô Leve-BH*	SEINFRA	45	PMI Trilhos Confins (2014)
P41	BRT Via Estruturante Sul	Prefeitura de Nova Lima	15	Plano de Mobilidade de Nova Lima
P <sub>52</sub>	BRS Diametral	SEINFRA	43	Rede de mobilidade ARMBH
P <sub>54</sub>	BRT Extensão 220	SEINFRA	6	Rede de mobilidade ARMBH
P <sub>55</sub>	BRT Vera Cruz	SEINFRA	8	Rede de mobilidade ARMBH
P56	BRT Corredor Sul	SEINFRA	11	Rede de mobilidade ARMBH
P <sub>57</sub>	Trem metropolitano Sabará- Caeté	SEINFRA	25	Rede de mobilidade ARMBH (extensão Linha B)
P58	RS Anel Intermediário	SEINFRA	30	PlanMob BH (2017)

<sup>\*</sup>Projetos modificados em relação ao estudo original.

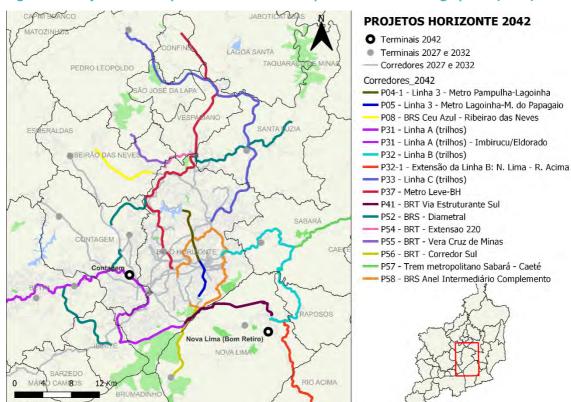


Figura 93: Projetos contemplados na rede de transporte estudada a longo prazo (2042)

# 7. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Os interesses e as necessidades de deslocamento das pessoas no meio urbano estão se transformando em velocidade crescente, impulsionados pelas mudanças de hábitos e das relações de trabalho, estudo, e comerciais, até então principais motivos das viagens cotidianas. Tais mudanças fazem com que as variáveis que influenciam o planejamento dos sistemas de mobilidade passem a contar com fatores com maior grau de imprevisibilidade do que ocorria nas décadas passadas.

Por outro lado, o levantamento de informações estratégicas para o planejamento das redes de mobilidade vem evoluindo na mesma velocidade com que ocorrem as transformações dos fluxos de pessoas nas cidades. Basta lembrar que pesquisas de Origem-Destino, quando muito, só eram executadas a cada 10 anos, com exceção para a Cidade de São Paulo, que conseguia fazê-la de 5 em 5 anos. As novas fontes de dados surgiram na esteira da transformação digital, e contam hoje com dados dos sistemas de bilhetagem eletrônica e de telefonia móvel.

A capacidade de previsão dos modelos que orientam a tomada de decisão será tanto mais eficaz quanto mais sistemática e flexível for a ferramenta de prospecção utilizada, pois, ainda que o futuro seja aberto a diferentes possibilidades, o esforço analítico, com certeza, permitirá reduzir estas possibilidades a um número de alternativas administráveis.

Neste sentido, a definição e o estudo de cenários, a partir da consideração de projetos que já foram pensados e previstos em estudos de planejamento estratégico, pelas diversas instâncias no âmbito da RMBH, bem como a sua atualização em periodicidade bianual, ganha importância na validação das alternativas mais adequadas às necessidades da população e na tomada de decisão.

O modelo de simulação desse estudo de subsídio ao PlanMob RMBH avaliou treze cenários de horizontes futuros, além do cenário de calibração da situação atual e de atualização de níveis tarifários, descritos na Tabela 26, a seguir. As configurações originais, denominas Co (rede atual - 2019), C1 (2027), C2 (2032) e C3 (2042), foram simuladas considerando a infraestrutura apresentada no capítulo 6. Em função dos resultados obtidos nestas primeiras simulações, foram sugeridas configurações alternativas, denominadas C2t e C3t, seja para melhorar a eficiência dos serviços estruturantes, como foi o caso da alteração da diretriz de traçado da Linha 2, seja pela apuração insuficiente da demanda em face da capacidade nominal das modalidades propostas. A partir dos resultados das configurações alternativas, foi observado que alguns trechos de serviços estruturantes ainda registravam baixa demanda no C2t e no C3t e, dessa maneira, foram reduzidos trajetos para os horizontes de 2032 e 2042, novamente simulados sob a denominação de C2usB e C3usB. Nessa mesma oportunidade, as propostas de racionalização realizadas para o município de Santa Luzia, descritas no capítulo 5.5, foram incorporadas à rede, o que resultou em novos cenários nos horizontes 2027, 2032 e 2042, sob a denominação C1sB, C2usB e C3usB, respectivamente.

Além das configurações de oferta de cada horizonte, descritas a seguir, simulou-se também a situação otimista, em que a integração tarifária é ampliada para incluir integrações entre o sistema metropolitano, sob responsabilidade da SEINFRA, e cada um dos sistemas municipais

incluídos no modelo. Estes são os cenários C1B e C1sB, para os horizontes de curto prazo; C2B, C2tB e C2usB, para os horizontes de médio prazo; e C3B, C3tB e C3usB para os horizontes de longo prazo.

Tabela 26: Cenários de simulação

Prazo	Horizonte	Nível tarifário	Configuração de oferta	Integração	Código
Atual	2019	2019	Figura 94	Atual	Coo
Atual	2019	2021	Figura 94	Atual	CoA
Curto	2027	2021	Figura 95	Atual*	C1A
Curto	2027	2021	Figura 95	Integração SEINFRA x municipais	C1B
Curto	2027	2021	Figura 96	Integração SEINFRA x municipais	C1sB
Médio	2032	2021	Figura 97	Atual*	C2A
Médio	2032	2021	Figura 97	Integração SEINFRA x municipais	C2B
Médio	2032	2021	Figura 99	Atual*	C2tA
Médio	2032	2021	Figura 99	Integração SEINFRA x municipais	C2tB
Médio	2032	2021	Figura 101	Integração SEINFRA x municipais	C2usB
Longo	2042	2021	Figura 102	Atual*	C <sub>3</sub> A
Longo	2042	2021	Figura 102	Integração SEINFRA x municipais	C <sub>3</sub> B
Longo	2042	2021	Figura 104	Atual*	C <sub>3</sub> tA
Longo	2042	2021	Figura 104	Integração SEINFRA x municipais	C <sub>3</sub> tB
Longo	2042	2021	Figura 105	Integração SEINFRA x municipais	C <sub>3</sub> usB

<sup>\*</sup>Conforme descrito no item 5.4.4.

# 7.1. CENÁRIOS CO - ATUAL

O cenário Coo refere-se à situação de calibração do modelo, representando a demanda e a oferta de 2019. Os aumentos tarifários ocorridos entre 2019 e 2021 são representados pelo cenário CoA, que contém a mesma configuração de oferta de 2019, com a mesma matriz de demanda e as mesmas regras de integração, porém com níveis tarifários equivalentes aos de 2021.

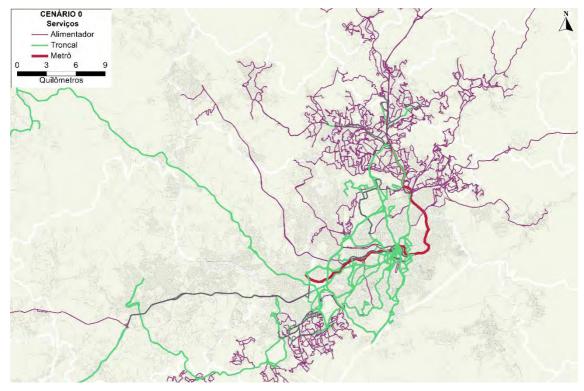


Figura 94: Rede simulada nos cenários COO e COA

# 7.2. CENÁRIOS C1 - CURTO PRAZO

A partir dos horizontes de implantação de cada um dos projetos considerados, foram elaboradas as redes de configuração de oferta, descritas no capítulo 6, destacando-se a reestruturação dos serviços do vetor oeste, com foco na rede de alimentação dos corredores estruturantes previstos para o horizonte de curto prazo, notadamente a Linha 2 do Metrô, o BRT da Avenida Amazonas e os corredores de Contagem. Essas redes estão representas no curto prazo nos cenários C1A e C1B.

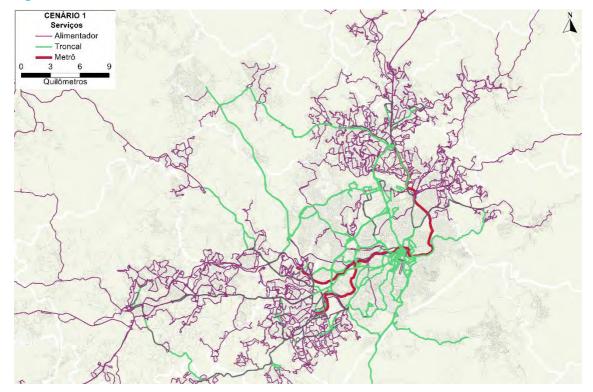


Figura 95: Rede tronco-alimentada simulada nos cenários C1A e C1B

### 7.2.1. CENÁRIO C1sB

O cenário C1sB, Figura 96, contempla o piloto de racionalização em Santa Luzia, descrito no item 5.5. Além disso, tem como premissa atender todas as diretrizes de capacidades, intervalos e tarifas do cenário C1B.

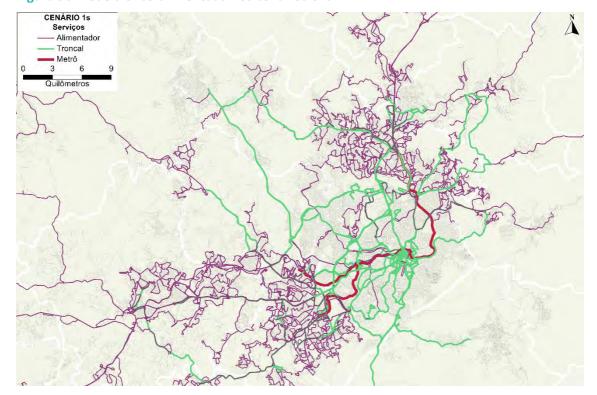


Figura 96: Rede tronco-alimentada nos cenários C1sB

### 7.3. CENÁRIOS C2 - MÉDIO PRAZO

A rede de configuração de oferta original, descrita no capítulo 6, foi representada no médio prazo nos cenários C2A e C2B. A Figura 97 apresenta a rede de linhas alimentadoras, troncais e do metrô que foram simuladas nesses cenários.



Figura 97: Rede tronco-alimentada nos cenários C2A e C2B

Fonte: Elaboração própria, 2021.

#### 7.3.1. CENÁRIO C2t

O cenário C2t é uma alternativa ao traçado da Linha 2 (Santa Tereza - Calafate), previsto para o horizonte de médio prazo. Neste cenário, a partir da previsão de alteração da diretriz de traçado da Linha 2 para o eixo da Av. Amazonas, na alternativa C3t, que não mais utilizaria a diretriz da Av. Olegário Maciel, foi simulada a entrada da Linha 2 no centro através do compartilhamento dos trilhos da Linha 1 no trecho entre a Estação Nova Suíssa e a Estação Central, de acordo com a Figura 98. Todas as demais configurações do C2t são iguais às configurações do cenário C2, Figura 99.

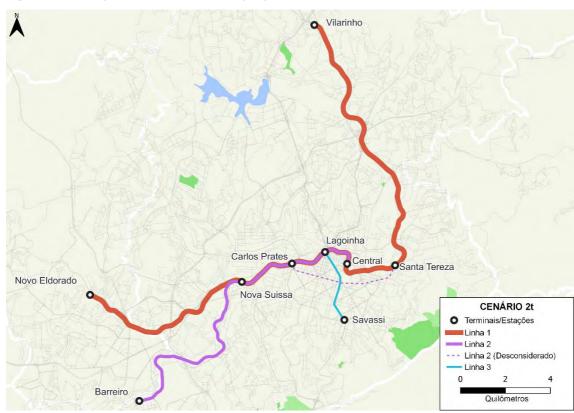


Figura 98: Arranjo das linhas de metrô propostas no C2t

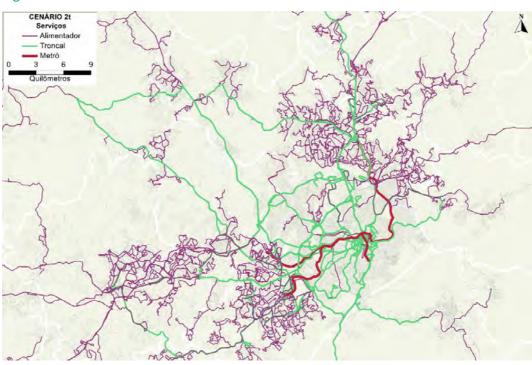


Figura 99: Rede tronco-alimentada nos cenários C2tA e C2tB

#### 7.3.2. CENÁRIO C2usB

O cenário C2us é uma nova alternativa ao cenário C2 e contempla o piloto de racionalização em Santa Luzia, descrito no item 5.5. Na Figura 100 pode-se observar que a Linha 2 não vai mais até a Estação Central, permanecendo o trecho entre Barreiro - Nova Suíssa, implantando no horizonte 2027. Tal decisão se deveu ao fato de o aumento da demanda na alternativa da Linha 2 até Central ter sido pouco significativo, não justificando o aumento da produção quilométrica. As demais configurações de rede são equivalentes ao cenário C2tB e podem ser examinadas na Figura 101.

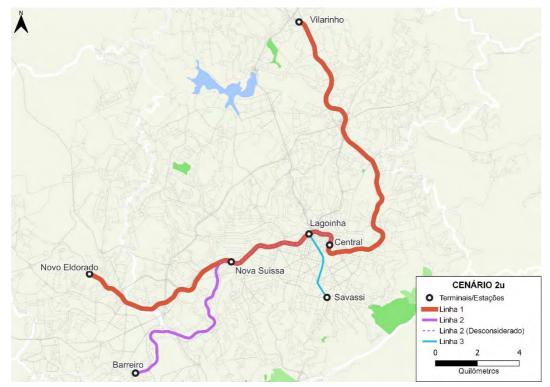


Figura 100: Arranjo das linhas de metrô propostas no C2us

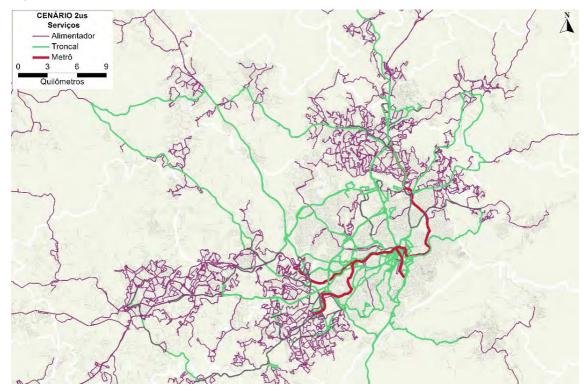


Figura 101: Rede tronco-alimentada nos cenários C2usB

# 7.4. CENÁRIOS C3 - LONGO PRAZO

A rede de configuração de oferta original, descrita no capítulo 6, foi representada no longo prazo nos cenários C<sub>3</sub>A e C<sub>3</sub>B. A Figura 102 apresenta a rede de linhas alimentadoras, troncais e do metrô que foram simuladas nesses cenários.

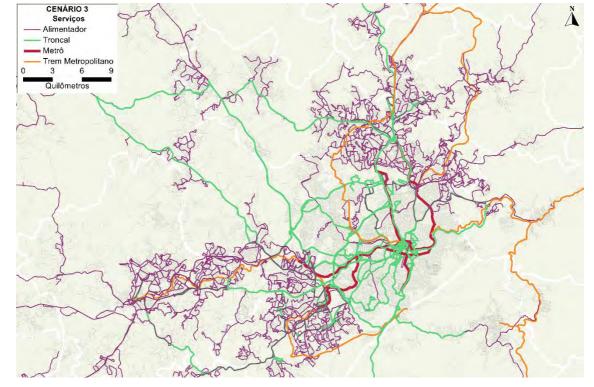


Figura 102: Rede tronco-alimentada nos cenários C3A e C3B

Fonte: Elaboração própria, 2021.

#### 7.4.1. CENÁRIO C3t

O C3t, por sua vez, é uma alternativa aos cenários dos horizontes de longo prazo e foi estruturado da seguinte maneira (Figura 103):

- O traçado da Linha 2 (Barreiro Santa Tereza) foi modificado e para percorrer o eixo da Avenida Amazonas no trecho entre a Estação Amazonas e a Praça Sete. O restante do traçado se mantém em relação ao traçado original que foi simulado previamente no C3.
   Como consequência da modificação do traçado da Linha 2, as linhas troncais criadas para o BRS Corredor Amazonas são desativadas no cenário C3t.
- A Linha 3 (Pampulha Morro do Papagaio) foi planejada como um sistema troncoalimentado com alimentação nas duas estações das extremidades. Além disso, foram
  propostas algumas alterações nas linhas que operam na Av. Antônio Carlos: as linhas
  troncais metropolitanas foram seccionadas com o objetivo de promover a alimentação do
  Terminal Pampulha, as linhas troncais metropolitanas diretas continuaram operando,

- porém com velocidades de tráfego misto, e as linhas troncais municipais deixaram de operar.
- O traçado do Metrô Leve foi modificado para promover a conexão entre as estações Amazonas e Nova Suíssa e foi seccionado no Terminal Morro Alto, operando com sistema tarifário análogo ao da CBTU (diferentemente do previsto nos cenários C<sub>3</sub>A e C<sub>3</sub>B), a fim de permitir melhor integração deste serviço com os serviços de ônibus da RMBH.
- Os projetos de trens metropolitanos estudados no PEF foram modificados com o traçado da Linha A limitado ao trecho entre Betim (Alterosas) e Novo Eldorado e o traçado da Linha B, limitado ao trecho entre Horto e Caeté. A Linha C é desativada.

Pedro Leopoldo Aeroporto Confins Horto Lagoinha Carlos Prates Praça Sete Santa Tereza Nova Suissa Palácio das Artes Morro Alto Amazonas **o**Vilarinho Pampulha o Sao Gabriel **CENÁRIO 3t** Caeté Terminais/Estações Sabará Linha 1 Novo Eldorado Linha 2 Betim (Alterosas) Linha 2 (Desconsiderado) Morro do Papagaio Betim (Centro) Linha 3 Barreiro Linha A Alameda da Serra - Linha A (Desconsiderado) Linha B -- Linha B (Desconsiderado) --- Linha C (Desconsiderado) Metrô Leve -- Metrô Leve (Desconsiderado) **o**Rio Acima Quilômetros

Figura 103: Arranjo das linhas de metrô e trem propostas no C3t

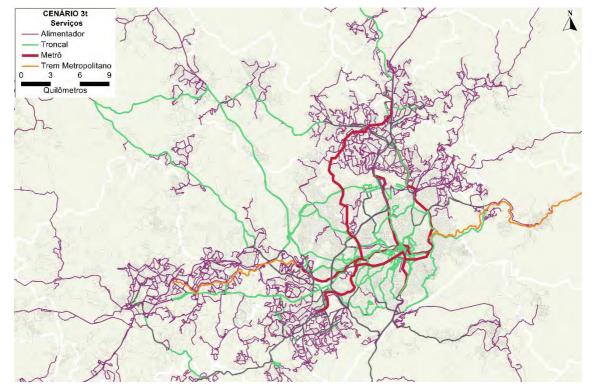


Figura 104: Rede tronco-alimentada nos cenários C3tA e C3tB

#### 7.4.2. CENÁRIO C3usB

No cenário C3usB, Figura 105, há alterações no cenário no C3t afim de propor alternativa para segmentos da rede de transporte ferroviário que não se mostraram atrativos, com demanda insuficiente para preencher a capacidade ofertada, e, também, contempla o piloto de racionalização em Santa Luzia, descrito no item 5.5. Assim, a Linha A teve redução do trajeto, passando a operar no trecho em que há demanda compatível com a oferta do sistema de metrô, entre Imbiruçu e a Estação Novo Eldorado, e a Linha B é desconsiderada. Ademais, o traçado do Metrô Leve proposto também sofreu redução já que mostrou demanda insuficiente no seu trecho final, nas proximidades do Terminal Morro Alto, sendo o seu trajeto definido entre a Estação Amazonas e Estação Venda Nova, integrando com a Linha 1 e Linha 2 nas estações Amazonas e Nova Suíssa, respectivamente. As demais configurações de rede são equivalentes ao cenário C3tB e podem ser examinadas na Figura 105.

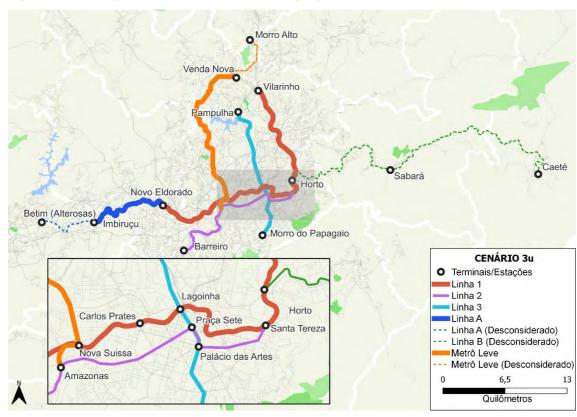


Figura 105: Arranjo das linhas de metrô e trem propostas no C3usB

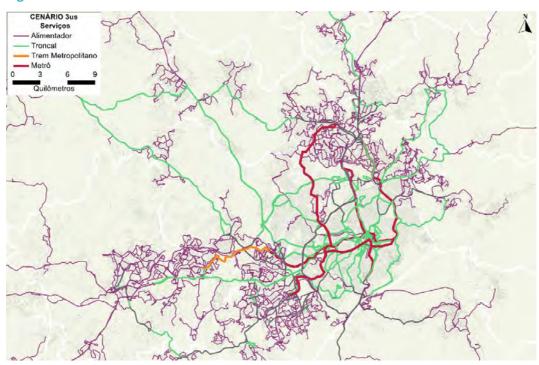


Figura 106: Rede tronco-alimentada no cenário C3usB

# 8. RESULTADOS

Este item apresenta os principais resultados obtidos do modelo de demanda utilizado na simulação dos cenários do presente estudo, avaliando seus impactos positivos e negativos no sistema de transporte coletivo. Estes resultados também servirão de inputs para a modelagem econômico-financeira do portfólio de ações para a mobilidade urbana sustentável na RMBH.

# 8.1. EFEITOS DA MIGRAÇÃO

Conforme descrito no item 3.4, são avaliados os efeitos da migração modal para cada combinação de oferta e tarifa. Os totais das matrizes com migração de demanda dos cenários são apresentados a seguir na Tabela 27 e no gráfico da Figura 107, para os cenários originais, e, na Tabela 28 e no gráfico da Figura 108, para as configurações alternativas. São apresentados também os totais das matrizes para projeção de demanda sem migração, a fim de permitir a comparação.

Tabela 27: Totais migração de demanda cenários originais

Cenário	Horizonte	Projeção de demanda	Migração A		Migração B	
Co	2019	538.484	-	-	-	-
Cı	2027	565.828	634.960	12,2 %	653.581	15,5%
C2	2032	579.384	668.719	15,4 %	685.048	18,2 %
C <sub>3</sub>	2042	595.974	708.447	18,9 %	722.328	21,2 %

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Tabela 28: Totais migração de demanda configurações alternativas

Cenário	Horizonte	Projeção de demanda	Migração tA		Migração tB		Migração usB	
Со	2019	538.484	-	-	-	-	-	-
C1	2027	565.828	-	-	-	-	660.527	16,7%
C <sub>2</sub>	2032	579.384	667.675	15,2%	684.015	18,1%	688.955	18,9%
C <sub>3</sub>	2042	595-974	725.673	21,8%	739.164	24,0%	736.067	23,5%

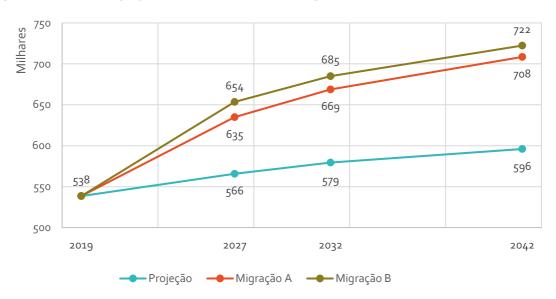
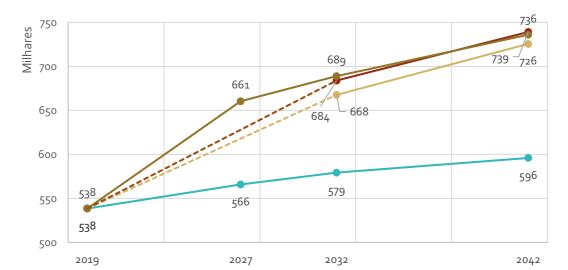


Figura 107: Totais migração de demanda cenários originais (C1A, C1B, C2A, C2B, C3A e C3B)



· Migração tB

– Migração usB

Figura 108: Totais migração de demanda configurações alternativas (C2tA, C2tB, C3tA, C3tB, C1sB, C2usB, C3usB)

Fonte: Elaboração própria, 2021.

--- Projeção

Os projetos considerados em cada horizonte produzem migrações de demanda acima de 10 % para todos os casos. A proporção de migração aumenta ao longo dos horizontes de análise pois, em cada horizonte, há sempre a inclusão de mais projetos. Ou seja, as variáveis de tempo e custo (que influem na migração) são melhoradas a cada horizonte.

– Migração tA

A integração tarifária entre SEINFRA e os sistemas municipais (Tarifa B) aumenta ainda mais a proporção de migração, devido ao desconto tarifário percebido pelos usuários.

Os mapas a seguir apresentam a taxa de variação de viagens da migração modal de cada cenário em relação à situação sem migração. Eles são apresentados com o objetivo de demonstrar espacialmente as regiões mais beneficiadas pelos projetos considerados.

#### 8.1.1. MIGRAÇÃO C1 - CURTO PRAZO

#### 8.1.1.1. VARIAÇÃO DE ORIGENS C1A

A Figura 109, a seguir, apresenta a taxa de variação de origens provocada pela migração modal para o cenário C1A. Percebe-se que as maiores taxas estão difusas pela RMBH, indicando o caráter e o impacto metropolitano dos projetos avaliados. É possível observar que os projetos considerados no curto prazo têm o potencial de atrair demanda dos municípios localizados na área de influência da rede de alimentação dos corredores estudados, como é o caso de Brumadinho, Mário Campos, Sarzedo e Ibirité, municípios localizados na bacia de alimentação do Corredor Sudoeste; bem como, da região do Eldorado, em Contagem, de Esmeraldas e de muitos setores de Betim, em especial no Petrolândia, localizados na área de influência dos corredores estruturantes de Contagem. Em ambas as situações mencionadas, tais corredores se interconectam com as linhas do metrô, ampliando as alternativas de deslocamento da população residente nestes municípios.

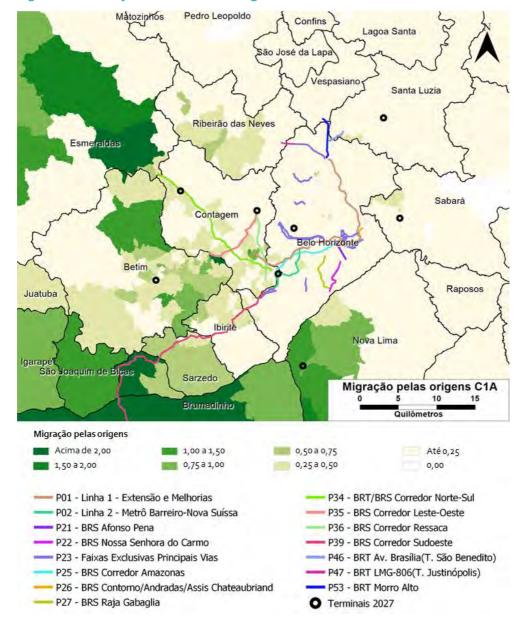


Figura 109: Variação no número de origens C1A

### 8.1.1.2. VARIAÇÃO DE ORIGENS C1B

As taxas de migração modal provocadas pelo cenário C1B estão apresentadas na Figura 110, a seguir. Percebe-se um pequeno aumento da migração em relação ao cenário C1A, que demonstra que a existência da integração tarifária entre sistemas provoca aumento na demanda atraída para o transporte coletivo, notadamente em setores de Santa Luzia, de Sabará e de Taquaraçu de Minas.

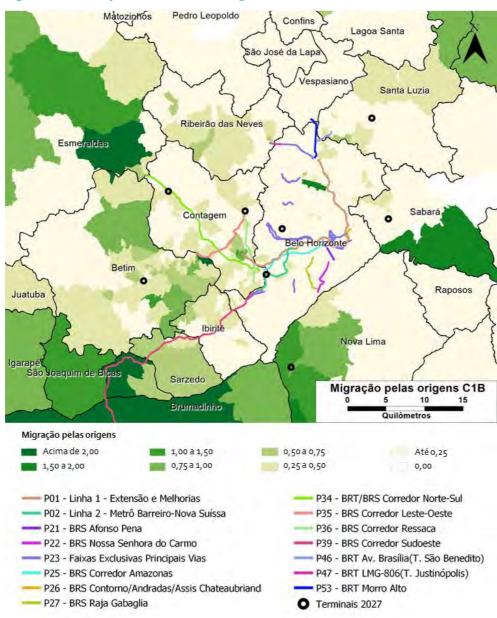


Figura 110: Variação no número de origens C1B

#### 8.1.1.3. VARIAÇÃO DE ORIGENS C1sB

As taxas de migração modal provocadas pelo cenário C1sB estão apresentadas na Figura 111, a seguir. É possível perceber o aumento generalizado da migração na região de Santa Luzia, devido às propostas de readequação da rede e de criação de regras de integração entre os sistemas municipal e metropolitano. Esse aumento é mais fortemente percebido em regiões no centro e ao norte de Santa Luzia, que são afastadas da área já atendida pelo existente terminal de BRT São Benedito. Desse modo, as intervenções propostas por esse cenário alcançam um novo público com demanda potencial para migração para o transporte coletivo.

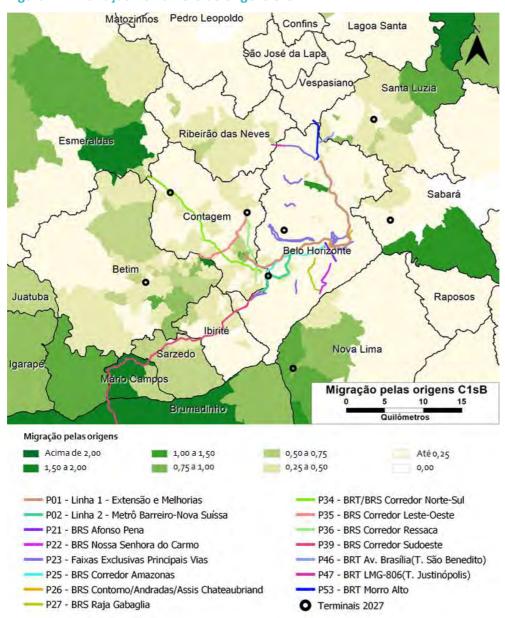


Figura 111: Variação no número de origens C1sB

### 8.1.2. MIGRAÇÃO C2 - MÉDIO PRAZO

### 8.1.2.1. VARIAÇÃO DE ORIGENS C2A

A Figura 112, a seguir, apresenta a taxa de variação de origens provocada pela migração modal para o cenário C2A. Em relação à migração do cenário C1A, percebe-se aumento da migração da região noroeste da região metropolitana, nos municípios de Esmeraldas, de Ribeirão das Neves e em parcela de Pedro Leopoldo, principais regiões afetadas pelo projeto P-10: BRT BR-040.

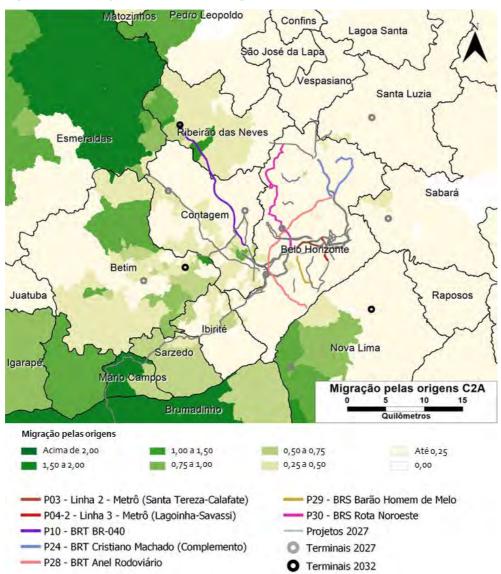


Figura 112: Variação no número de origens C2A

#### 8.1.2.2. VARIAÇÃO DE ORIGENS C2B

As taxas de migração modal provocadas pelo cenário C2B estão apresentadas na Figura 113, a seguir. Percebe-se aumento da migração em relação ao cenário C2A, indicando, novamente, que a existência da integração tarifária entre sistemas provoca aumento na demanda atraída para o transporte coletivo, principalmente as áreas dos bairros de Contagem situados às margens da BR-040, e de Santa Luzia, de Sabará e de Taguaraçu de Minas.

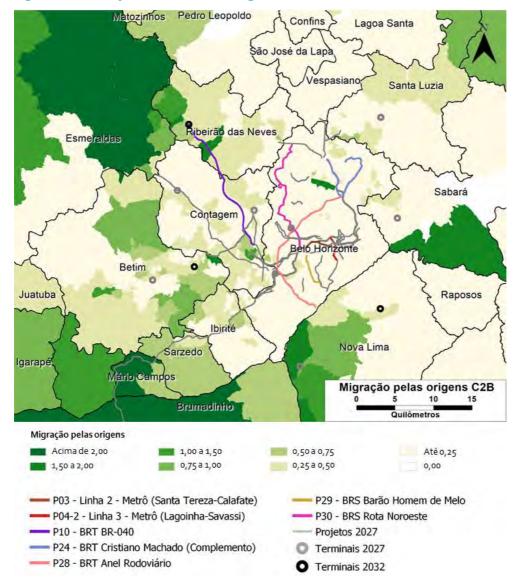


Figura 113: Variação no número de origens C2B

Fonte: Elaboração própria, 2021.

### 8.1.2.3. VARIAÇÃO DE ORIGENS C2tA

A Figura 114, a seguir, apresenta a taxa de variação de origens provocada pela migração modal para o cenário C2A. Em relação à migração do cenário C2A, as áreas que apresentaram maior

variação positiva de viagens pelas origens permanecem iguais para o cenário C2tA, correspondendo aos municípios de Esmeraldas e Ribeirão das Neves.

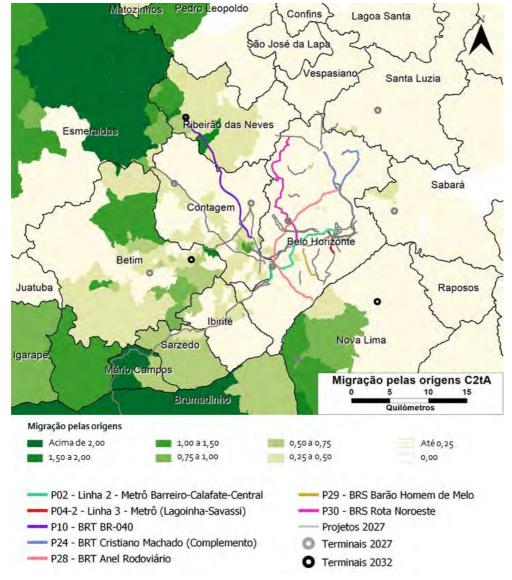


Figura 114: Variação no número de origens C2tA

## 8.1.2.4. VARIAÇÃO DE ORIGENS C2tB

A Figura 115, a seguir, apresenta a taxa de variação de origens provocada pela migração modal para o cenário C2tB. Percebe-se aumento da migração em relação ao cenário C2tA, indicando que a existência da integração tarifária entre sistemas provoca aumento na demanda atraída para o transporte coletivo. Destacam-se os municípios de Santa Luzia, Sabará e Taquaraçu de Minas, que apresentaram uma maior taxa de migração em relação ao cenário anterior, evidenciando a importância da reformulação das regras tarifárias nessas regiões.

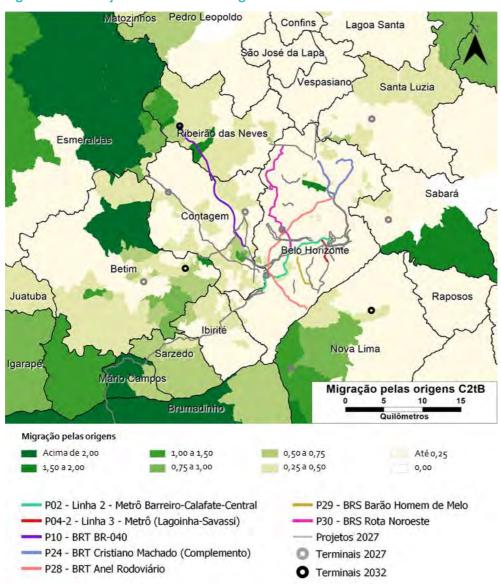


Figura 115: Variação no número de origens C2tB

# 8.1.2.5. VARIAÇÃO DE ORIGENS C2usB

As taxas de migração modal provocadas pelo cenário C2usB estão apresentadas na Figura 116, a seguir. Quando comparado ao cenário C2tB, percebe-se um aumento na migração em várias regiões do Município de Santa Luzia, devido às propostas de reconstrução da rede e de criação de regras de integração entre os sistemas municipal e metropolitano.

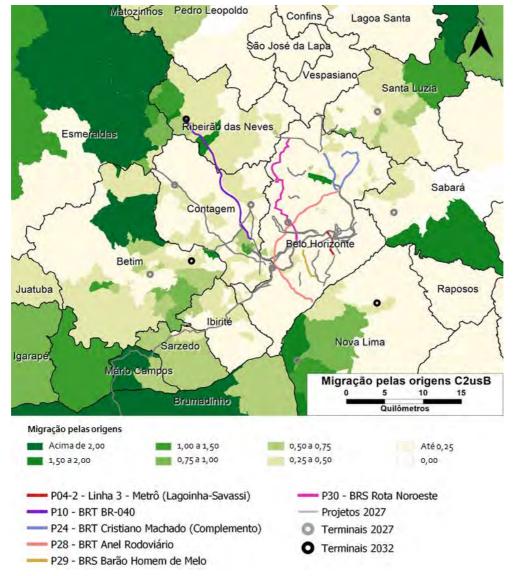


Figura 116: Variação no número de origens C2usB

# 8.1.3. MIGRAÇÃO C3 - LONGO PRAZO

# 8.1.3.1. VARIAÇÃO DE ORIGENS C3A

A Figura 117, a seguir, apresenta a taxa de variação de origens provocada pela migração modal para o cenário C<sub>3</sub>A. Há aumento da intensidade da migração modal (em relação aos cenários C<sub>1</sub>A e C<sub>2</sub>A) provocado pela inserção dos diversos projetos que compõem o cenário C<sub>3</sub>A. Nesse cenário, ampliam-se o atendimento às populações de Ribeirão das Neves, Vespasiano, Santa Luzia, Sabará, Nova Lima, Ibirité, Contagem e Betim.

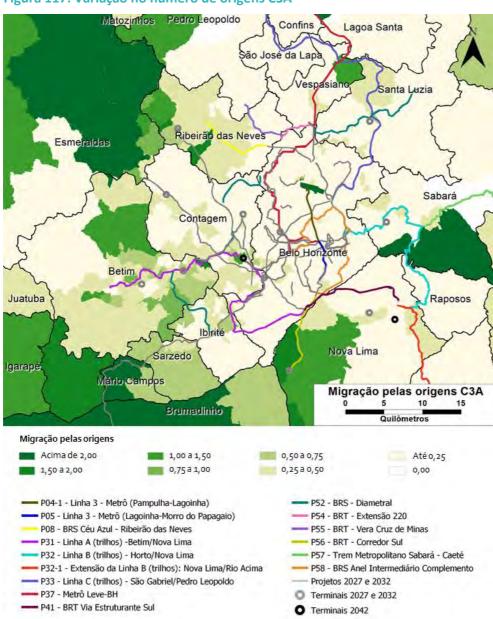


Figura 117: Variação no número de origens C3A

## 8.1.3.2. VARIAÇÃO DE ORIGENS C3B

As taxas de migração modal provocadas pelo cenário C<sub>3</sub>B estão apresentadas na Figura 113, a seguir. Há pouca alteração das taxas de migração em relação ao cenário C<sub>3</sub>A, ampliando a participação das populações da região de Justinópolis, em Ribeirão das Neves; de setores centrais e do São Benedito, em Santa Luzia; da região de Venda Nova, Norte e Oeste, em Belo Horizonte; Vale do Sereno e porção Sudoeste, de Nova Lima; regiões do Washington Pires e Petrovale, em Ibirité; e regiões do PTB e Alterosas, em Betim.

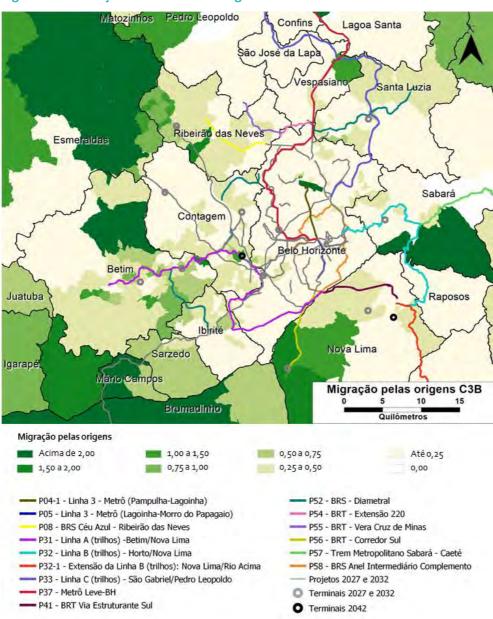


Figura 118: Variação no número de origens C3B

## 8.1.3.3. VARIAÇÃO DE ORIGENS C3tA

A Figura 119, a seguir, apresenta a taxa de variação de origens provocada pela migração modal para o cenário C3tA. Em relação à migração do cenário C3A, as áreas que apresentaram maior variação positiva de viagens pelas origens permanecem majoritariamente as mesmas, excetuando-se Santa Luzia que não havia apresentado taxa de migração significativa no cenário anterior. Ainda assim, o impacto da migração é um pouco menor (os verdes no mapa são mais claros) do que no cenário C3A.

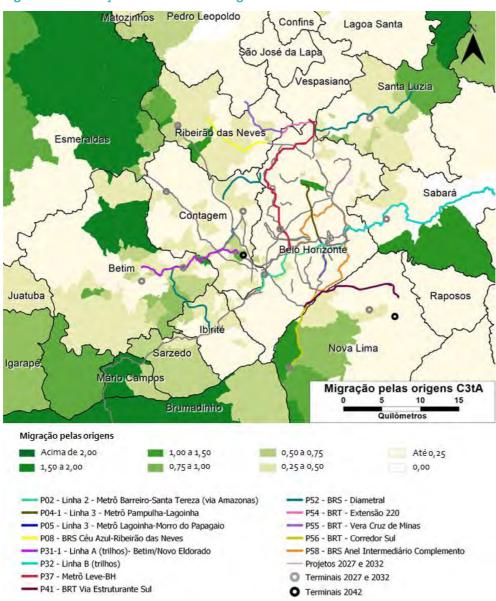


Figura 119: Variação no número de origens C3tA

# 8.1.3.4. VARIAÇÃO DE ORIGENS C3tB

A Figura 120, a seguir, apresenta a taxa de variação de origens provocada pela migração modal para o cenário C3tB. Assim como no cenário anterior, C3tA, há pequena redução da migração modal nas áreas afetadas (o verde do mapa fica um pouco mais claro), com exceção de regiões de Santa Luzia, que aumentam a taxa de migração.

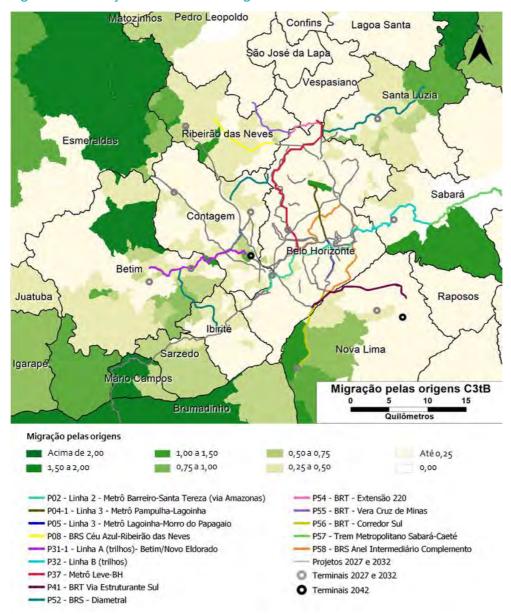


Figura 120: Variação no número de origens C3tB

# 8.1.3.5. VARIAÇÃO DE ORIGENS C3usB

A Figura 121, a seguir, apresenta a taxa de variação de origens provocada pela migração modal para o cenário C3usB. Este cenário apresenta taxas de migração análogas às taxas do cenário anterior, C3tB.

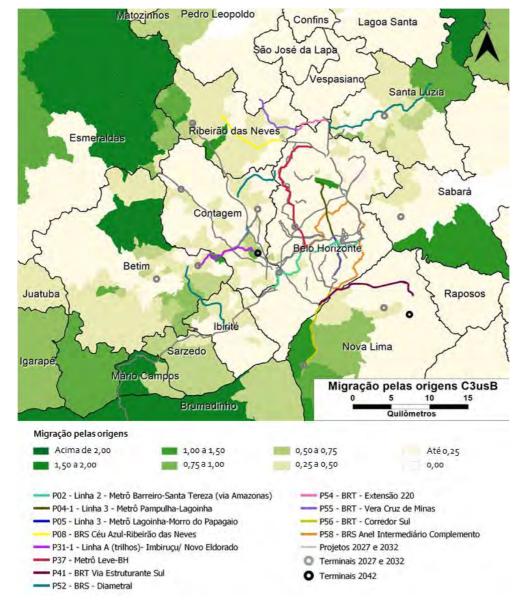


Figura 121: Variação no número de origens C3usB

## 8.2. INDICADORES

A partir das simulações dos cenários, avalia-se também alguns indicadores gerais:

- **Tarifa**: custo médio tarifário por deslocamento. Nesse valor estão incluídas todas as tarifas pagas pelos usuários para os seus deslocamentos.
- Transferências: número de transferências médio por deslocamento.
- **Tempo total:** tempo total de viagem médio por deslocamento.
- **Tempo no veículo:** tempo médio embarcado por deslocamento.

Os indicadores para os resultados com migração de demanda devem ser analisados considerando que a demanda atraída é resultado da migração de trajetos mais longos, com maiores tempos e maiores tarifas. Assim, os tempos e tarifas médios no transporte aumentam com a presença desta demanda que migrou de outros modos para o transporte coletivo. Nesse sentido, é importante ressaltar os benefícios sociais e as externalidades positivas das propostas, que, em alguns casos, não podem ser observadas de forma objetiva por meio de indicadores numéricos.

O indicador de tarifa é apresentado na Figura 122 para os cenários originais e na Figura 123 para as configurações alternativas.

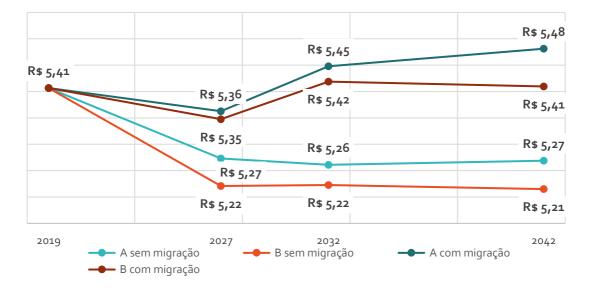


Figura 122: Indicador tarifa cenários originais

Fonte: Elaboração própria, 2021

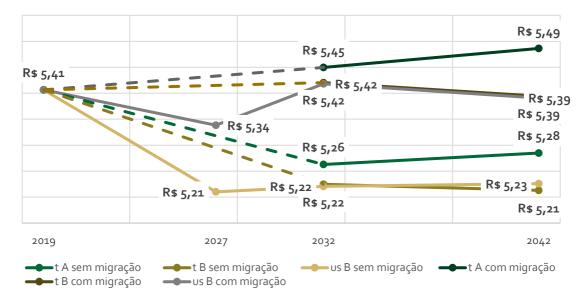


Figura 123: Indicador tarifa configurações alternativas

Fonte: Elaboração própria, 2021

Analisando-se as situações sem migração de demanda, percebe-se que há queda da tarifa média para todos os horizontes, em relação ao cenário de comparação CoA. Para os cenários com configuração de tarifa atual (C1A, C2A, C2tA, C3A e C3tA) os níveis tarifários se mantém entre si. Esta queda de tarifa se deve a inserção de novas alternativas de caminhos para os usuários, a partir do uso das regras de integração tarifária atuais, possibilitadas pela implantação dos novos serviços estruturantes e da intensificação da alimentação nos novos terminais de integração. Já para os cenários otimistas (C1B, C1sB, C2B, C2tB, C2usB, C3B, C3tB e C3usB), com a ampliação da integração tarifária, o nível tarifário cai ainda mais.

Já nas situações com migração de demanda, o aumento do valor da tarifa média indica que os usuários atraídos são aqueles cujas tarifas são maiores em relação à média do sistema, porém o transporte coletivo se mostrou mais vantajoso quanto ao tempo e aos custos em relação aos modos substituídos. Assim, há um aumento da receita decorrente da atração em maior volume de usuários que estão dispostos a se transferir para o transporte público, mesmo tendo que fazer mais transferências em relação ao perfil da demanda atual.

A Figura 124 e a Figura 125, a seguir, apresentam o indicador de número médio de transferências (número de transferências médio por deslocamento) para os cenários originais e as configurações alternativas, respectivamente.

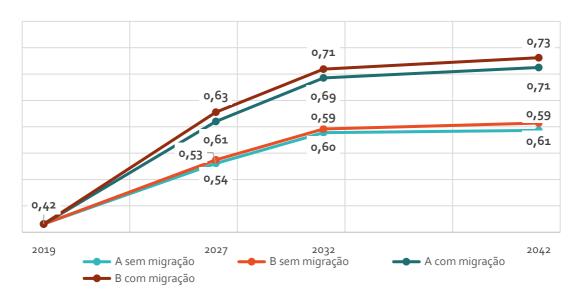


Figura 124: Indicador transferências cenários originais

Fonte: Elaboração própria, 2021

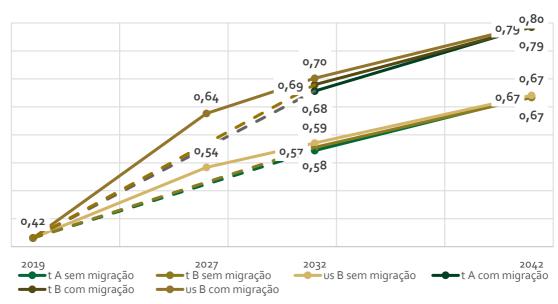


Figura 125: Indicador transferências configurações alternativas

Fonte: Elaboração própria, 2021

O número médio de transferências sobe a cada horizonte analisado, pois, os serviços inseridos em cada cenário implicam seccionamentos de linhas e incentivos a trocas entre os sistemas alimentadores e os sistemas troncais, sejam estes sobre pneus ou sobre trilhos. No horizonte de longo prazo (2042), o número de transferências é maior nas configurações alternativas em relação aos cenários originais, pois, nas configurações alternativas há maior tronco-alimentação e desativação e linhas de ônibus troncais, nos corredores onde foram implantados

linhas do sistema metroferroviário, estimulando o transbordo entre linhas alimentadoras e o sistema de trilhos.

Os indicadores de tempo total e de tempo no veículo são apresentados da Figura 126 à Figura 129, a seguir.

51,5 49,8 49,7 51,3 49,4 49,2 47,1 45,9 45,7 44,4 45,4 45,3 43,8 2027 2019 2032 2042 A com migração A sem migração B sem migração B com migração

Figura 126: Indicador tempo total cenários originais

Fonte: Elaboração própria, 2021

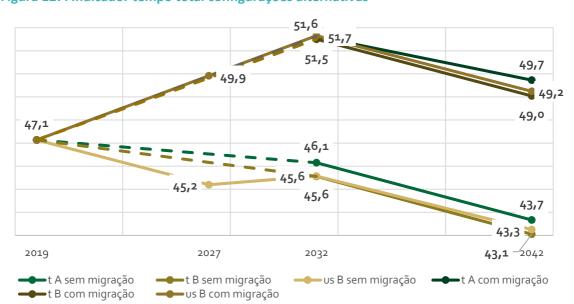


Figura 127: Indicador tempo total configurações alternativas

Fonte: Elaboração própria, 2021

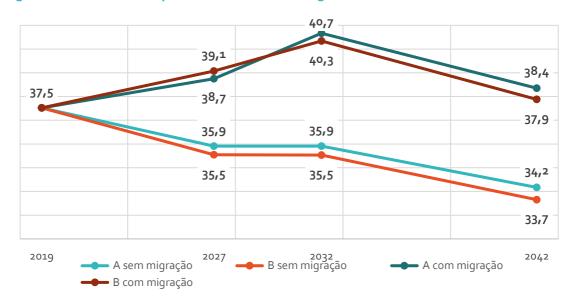


Figura 128: Indicador tempo no veículo cenários originais

Fonte: Elaboração própria, 2021

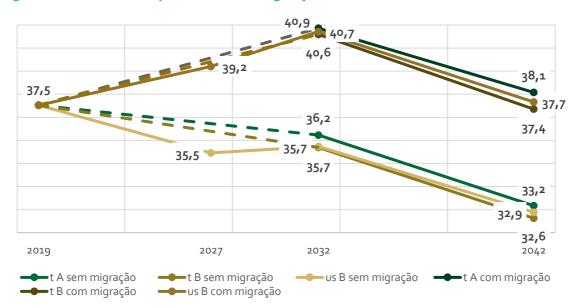


Figura 129: Indicador tempo no veículo configurações alternativas

Fonte: Elaboração própria, 2021

O tempo total e o tempo no veículo comportam-se semelhantemente, com redução de tempo nos cenários de curto prazo (C1A, C1B e C1sB) em relação ao cenário de comparação CoA. Já nos cenários de médio prazo (C2A, C2B, C2tA, C2tB e C2usB) há pequeno aumento dos tempos em relação ao horizonte anterior. Isto se deve à diminuição dos tempos de espera em combinação com a redução de tarifa, o que tornam atrativos os caminhos com maior tempo (no veículo e total), porém com menor custo generalizado.

## 8.2.1. TARIFAS

Neste item apresenta-se a variação de tarifa média em cada cenário, para cada uma das 1.002 zonas em que foi dividido o território da RMBH. São considerados apenas os cenários sem migração modal a fim de facilitar a comparação com a situação atual, excluindo as variações decorrentes dos usuários que migram de outros modos e, portanto, têm comportamento diferente do usuário regular do transporte coletivo.

A variação absoluta (em relação ao cenário de referência CoA) da tarifa média, por zona de origem, para cada cenário, é apresentada nos mapas da Figura 130 e da Figura 131, a seguir.

Há pouca diferença, em termos de tarifa, dentre os horizontes futuros, ou seja, comparando-se C1, C2 e C3. Ocorrem reduções de tarifas para maior parte das zonas. Para algumas zonas, há aumento tarifário. Isto decorre dos projetos considerados, para alguns dos quais há seccionamentos de linhas e tronco-alimentação, gerando assim para os usuários mais alternativas com tarifas de transbordo que não existem no cenário de referência com a oferta atual.

Figura 130: Variação da tarifa pelas origens em comparação ao cenário de referência COA - cenários originais

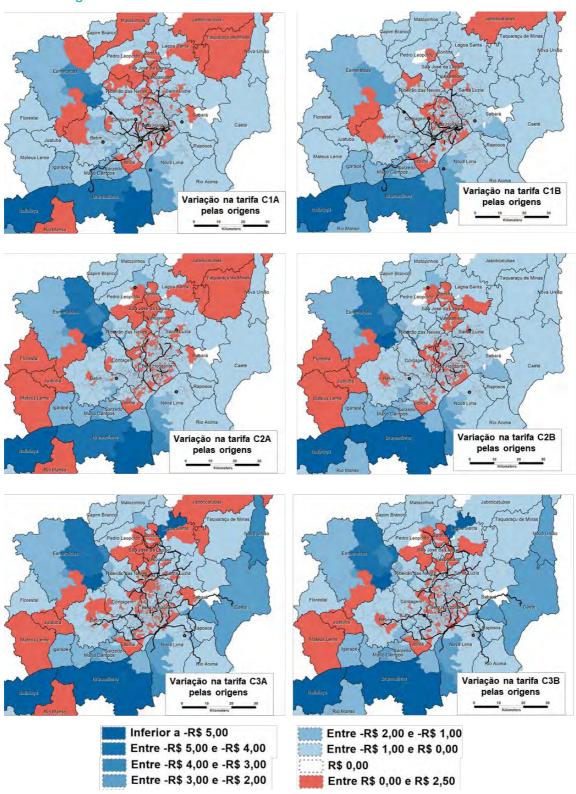
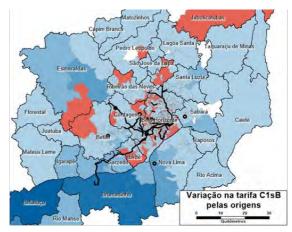
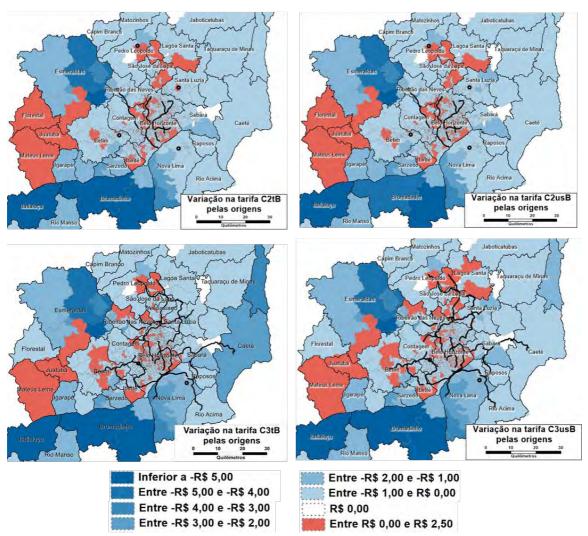


Figura 131: Variação da tarifa pelas origens em comparação ao cenário de referência COA - configurações alternativas





#### 8.2.2. TEMPO TOTAL

Neste item apresenta-se a variação de tempo total médio em cada cenário, para cada zona de transporte. São considerados apenas os cenários sem migração modal.

A variação absoluta (em relação ao cenário de referência CoA) do tempo total médio, por zona de origem, para cada cenário, é apresentada nos mapas da Figura 132 e da Figura 133, a seguir.

Percebe-se que, com a evolução dos cenários temporalmente, há melhoria (redução) do tempo total médio para maior parte das zonas de transporte. Isto é efeito dos projetos considerados em cada cenário, em que as velocidades são melhoradas por meio de corredores de ônibus ou então linhas de trilhos. Há exceções, que são zonas em que o tempo total médio aumenta, entretanto, estas são zonas em que há ganho tarifário para os usuários.

Figura 132: Variação do tempo médio de viagens pelas origens em comparação ao cenário de referência COA - cenários originais

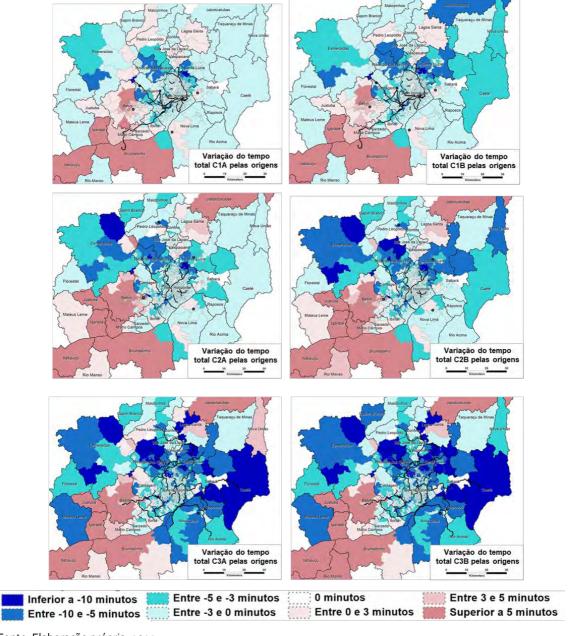
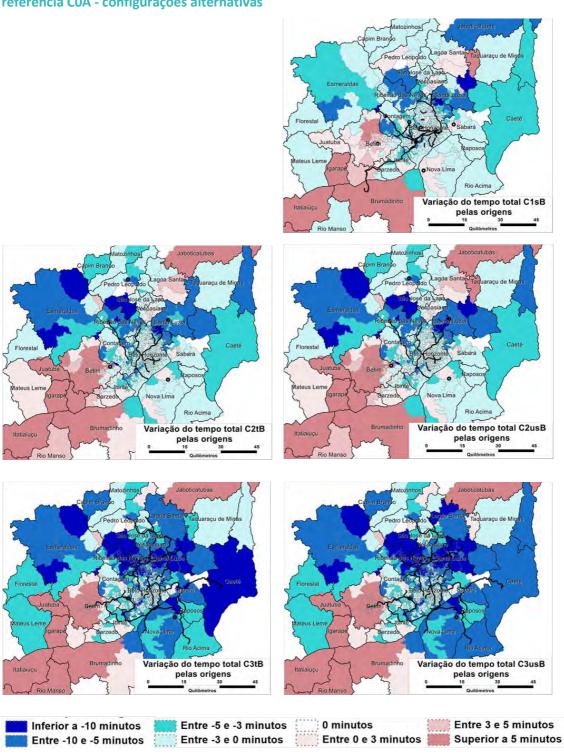


Figura 133: Variação do tempo médio de viagens pelas origens em comparação ao cenário de referência COA - configurações alternativas



#### 8.2.3. TEMPO NO VEÍCULO

Neste item apresenta-se a variação de tempo no veículo médio em cada cenário, para cada zona de transporte. São considerados apenas os cenários sem migração modal.

A variação absoluta (em relação ao cenário de referência CoA) do tempo no veículo médio, por zona de origem, para cada cenário, é apresentada nos mapas da Figura 134 e da Figura 135, a sequir.

Novamente, percebe-se que, com a evolução dos cenários temporalmente, há melhoria (redução) do tempo no veículo médio para maior parte das zonas de transporte. Isto é efeito dos projetos considerados em cada cenário, em que as velocidades são melhoradas por meio de corredores de ônibus ou linhas de trilhos. Há exceções, que são zona em que o tempo no veículo médio aumenta, entretanto estas são zonas em que há ganho tarifário para os usuários.

Figura 134: Variação do tempo médio no veículo pelas origens em comparação ao cenário de referência COA - cenários originais

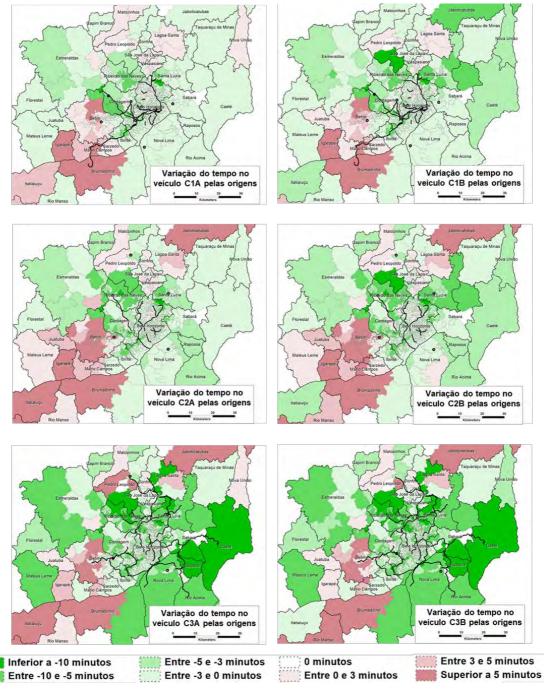
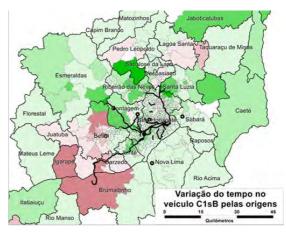
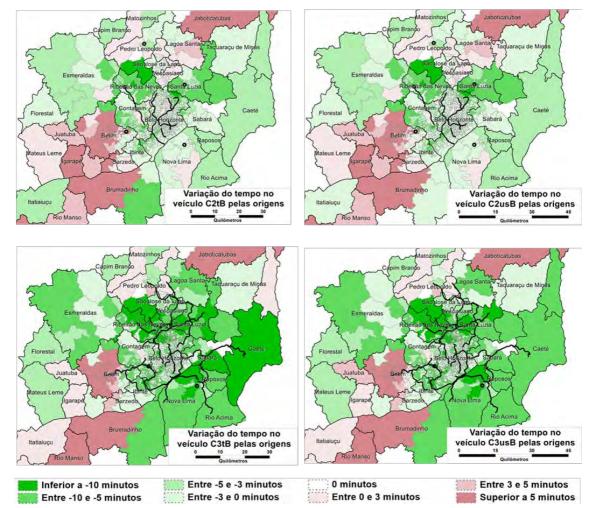


Figura 135: Variação do tempo médio no veículo pelas origens em comparação ao cenário de referência COA - configurações alternativas





# **8.3. EMBARQUES E CARREGAMENTOS**

## 8.3.1. CURTO PRAZO

A Tabela 29 apresenta o total de embarques para cada um dos sistemas em análise para os cenários de curto prazo.

Pelo total de embarques em cada sistema (Tabela 29), percebe-se que o sistema de trilhos, neste horizonte composto pelas melhorias e extensão da Linha 1 e pela inclusão do primeiro trecho, entre Barreiro e Nova Suíssa, da Linha 2, mantem-se em proporção constante em relação aos sistemas de ônibus. Ou seja, o total de embarques nos trilhos representa cerca de 10% do total de embarques para todos os cenários de curto prazo. Dentre os sistemas de ônibus, o metropolitano (SEINFRA) apresenta crescimento de cerca de 20% de embarques para as situações sem migração modal. Isto é resultado da tronco-alimentação da rede, incorporada nos projetos propostos para este horizonte.

Tabela 29: Embarques por sistemas - Curto prazo

	CoA	C1A		C <sub>1</sub> B		C1sB	
Sistemas	SemMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr
CBTU	45.723	74.054	92.185	83.166	116.330	82.536	116.672
Trem	-	-	-	-	-	-	-
Trilhos	45.723	74.054	92.185	83.166	116.330	82.536	116.672
SEINFRA	241.296	295.793	392.856	284.413	387.098	286.297	395.033
BHTRANS	403.743	429.461	459.513	429.970	473.722	428.549	472.327
Demais mun.	54.760	48.530	54.689	52.816	62.324	55.944	73.879
Ônibus	699.798	773.783	907.058	767.198	923.144	770.791	941.239

Fonte: Elaboração própria, 2021.

O carregamento representa o volume de passageiros da rede de transporte público transportado nos links da base viária, no horário de pico da manhã, entre 5hoo e 7h59. Os resultados de carregamento apresentados a seguir fazem distinção entre modos de transporte por trilhos (CBTU e trem) e demais modos de transporte coletivo. São observados eixos de maior carregamento da rede, em geral correspondentes aos eixos de maior capacidade e oferta de transporte público, em destaque:

- As linhas de transporte sobre trilhos (CBTU e trem);
- Os corredores de ônibus, em particular o BRT Antônio Carlos e o BRT Cristiano Machado; e
- Os eixos de linhas de ônibus troncais ligando Belo Horizonte aos municípios de Contagem e Betim, tais como a Avenida Amazonas, a rodovia Fernão Dias e a Via Expressa.

Nos mapas da Figura 136 e da Figura 137 são apresentados os carregamentos para os cenários de curto prazo C1B e C1sB, respectivamente. Na Tabela 30 são apresentados os carregamentos críticos dos principais eixos de transporte por ônibus, e na Tabela 31 são apresentados os carregamentos críticos para as linhas de trilhos. A diferença de carregamento dos cenários C1B

e C1sB com o cenário de referência CoA é apresentada nos mapas da Figura 138 e da Figura 139, respectivamente.

No tocante aos projetos estruturantes sobre trilhos, este cenário conta com a oferta da Linha 1 - Vilarinho/Novo Eldorado e a Linha 2 - Barreiro/Nova Suíssa. No eixo de maior carregamento, a linha 1 atrai até 40.000 passageiros por sentido para 3h de pico da manhã (situações com integração tarifária - C1B e C1sB), enquanto a linha 2 atinge até 13.300 passageiros por sentido (na situação sem integração tarifária - C1A), conforme apresentado na Tabela 31.

Com base nos mapas de diferença de carregamento apresentados na Figura 138 e na Figura 139, nota-se que uma parte desses passageiros são transferidos de linhas de ônibus concorrentes à oferta de metrô, em particular no eixo da Via Expressa.

Os carregamentos críticos dos projetos incluídos nas simulações no horizonte de curto prazo podem ser vistos na Tabela 30. Percebe-se que o existente BRT da Antônio Carlos é o eixo mais carregado no cenário de referência (CoA), e segue sendo o mais carregado para todas as configurações de projetos no curto prazo. O BRT da Pedro I, também existente, é o segundo eixo mais carregado também para todas as configurações de curto prazo.

Dentre os eixos em que há projetos considerados, destacam-se os projetos de BRS do Corredor Amazonas e do Corredor Contorno/Andradas/Assis Chateaubriand, bem como o BRT Morro Alto. Este são eixos que já possuem alta carga crítica no cenário de referência, que não aumentam significativamente com a inclusão dos projetos. Ainda assim, a alta carga crítica atual indica que a quantidade de usuários beneficiados pela inclusão destes projetos é alta.

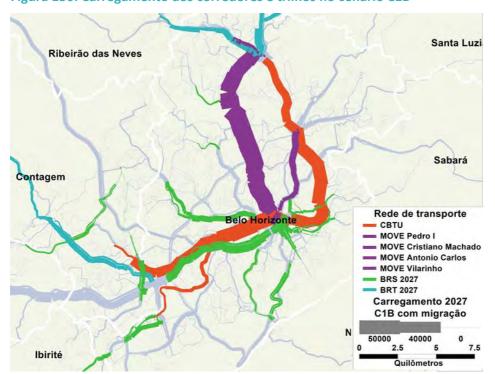


Figura 136: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C1B

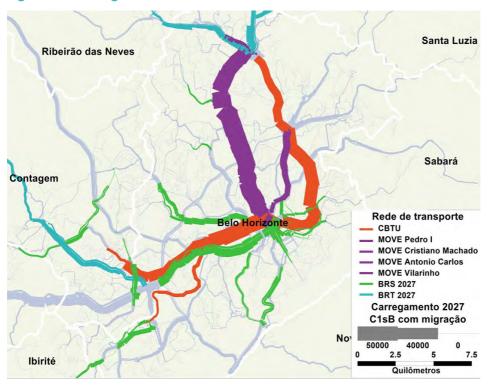


Figura 137: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C1sB

Tabela 30: Carregamento crítico dos eixos de transporte no curto prazo (2027)

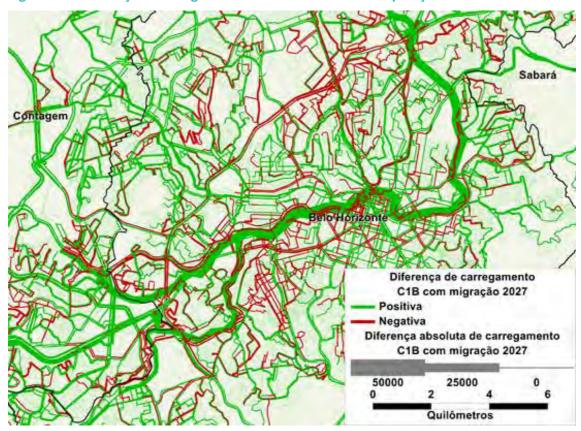
Eixos	CoA	C <sub>1</sub>	·	C <sub>1</sub>	ιB	C1sB		
LIXUS	semMigr	semMigr	comMigr	semMigr	comMigr	semMigr	comMigr	
BRT Antonio Carlos	67.834 (SN)	68.296 (SN)	70.649 (SN)	66.175 (SN)	68.8o8 (SN)	66.260 (SN)	68.999 (SN)	
BRT Cristiano Machado	22.978 (SN)	24.587 (SN)	25.806 (SN)	21.845 (SN)	23.172 (SN)	22.997 (SN)	25.012 (SN)	
BRT Pedro I	52.460 (SN)	53.252 (SN)	55.438 (SN)	51.445 (SN)	53.836 (SN)	51.528 (SN)	54.140 (SN)	
BRT Vilarinho	17.620 (OL)	16.854 (OL)	17.198 (OL)	16.522 (OL)	17.138 (OL)	16.514 (OL)	17.116 (OL)	
P21_BRS Afonso Pena	15.447 (SN)	16.635 (SN)	17.718 (SN)	17.551 (SN)	19.967 (SN)	17.528 (SN)	19.993 (SN)	
P22_BRS N. Senhora do Carmo	9.895 (NS)	10.405 (NS)	10.660 (NS)	10.287 (NS)	10.708 (NS)	10.276 (NS)	10.694 (NS)	
P23_Faixa Exclusiva Área Central	13.901	14.108	14.632	13.897	14.917	13.863	14.862	
P23_Faixa Exclusiva Av. Portugal	9.689 (LO)	9.631 (LO)	9.899 (LO)	9.451 (LO)	9.790 (LO)	9.459 (LO)	9.802 (LO)	
P23_Faixa Exclusiva R. Henrique Badaró	139 (SN)	138 (SN)	139 (SN)	138 (SN)	139 (SN)	138 (SN)	139 (SN)	
P23_Faixa Exclusiva R. Conceição do Mato Dentro	5.609 (LO)	5.703 (LO)	5.804 (LO)	5.489 (LO)	5.753 (LO)	5.490 (LO)	5.756 (LO)	
P23_R. Pe. Eustaquio	18.154 (LO)	19.264 (LO)	19.826 (LO)	19.590 (LO)	21.053 (LO)	19.503 (LO)	21.037 (LO)	
P23_R. Pe. Pedro Pinto	16.577 (LO)	16.374 (LO)	17.444 (LO)	16.755 (LO)	19.641 (LO)	16.749 (LO)	19.654 (LO)	
P23_SinfronioBrochado	14.174 (LO)	14.482 (LO)	17.105 (LO)	14.493 (LO)	17.701 (LO)	14.491 (LO)	17.716 (LO)	
P25_BRS Corredor Amazonas	31.167 (LO)	27.568 (LO)	30.906 (LO)	26.369 (LO)	29.422 (LO)	26.301 (LO)	29.358 (LO)	
P26_BRS Contorno/	26.605 (LO)	27.245 (LO)	28.671 (LO)	25.834 (LO)	27.250 (LO)	25.784 (LO)	27.289 (LO)	
P <sub>27</sub> _BRS Raja Gabaglia	10.038 (SN)	10.842 (SN)	11.445 (SN)	10.749 (SN)	11.521 (SN)	10.737 (SN)	11.519 (SN)	
P <sub>35</sub> _BRS Corredor Leste-Oeste	5.729 (LO)	8.939 (LO)	13.786 (LO)	7.449 (LO)	10.386 (LO)	8.48 <sub>3</sub> (LO)	12.712 (LO)	
P <sub>3</sub> 6_BRS Corredor Ressaca	14.705 (NS)	14.025 (NS)	19.751 (NS)	16.003 (NS)	23.340 (NS)	15.671 (NS)	23.020 (NS)	
P <sub>39</sub> _BRS Corredor Sudoeste	14.659 (LO)	14.841 (LO)	17.838 (LO)	14.958 (LO)	18.493 (LO)	14.959 (LO)	18.507 (LO)	
P <sub>34</sub> _BRT Corredor Norte-Sul	14.259 (LO)	15.869 (LO)	22.269 (LO)	15.795 (LO)	21.175 (LO)	15.667 (LO)	21.327 (LO)	
P46_BRT Corredor Av. Brasília (Terminal São Benedito)	13.615 (OL)	12.780 (OL)	13.397 (OL)	12.709 (OL)	14.603 (OL)	12.864 (OL)	15.304 (OL)	
P <sub>47</sub> _BRT Corredor LMG-8o6 (Terminal Justinópolis)	16.577 (LO)	16.374 (LO)	17.444 (LO)	16.755 (LO)	19.641 (LO)	16.749 (LO)	19.654 (LO)	
P <sub>53</sub> _BRT Morro Alto	24.192 (SN)	24.538 (SN)	25.907 (SN)	24.343 (SN)	27.709 (SN)	24.225 (SN)	27.898 (SN)	

<sup>\*</sup> SN (Sul-Norte); NS (Norte-Sul); LO (Leste-Oeste); OL (Oeste-Leste); AH (Anti-horário); HA (Horário)

Tabela 31: Carregamento crítico dos trilhos (CBTU e Trem) no curto prazo (2027)

Linha	Sentido	C <sub>1</sub>	L <b>A</b>	C:	ιВ	C1sB		
	Serrido	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	
LINo1	Novo Eldorado/Vilarinho	27.294	35.216	29.005	39.850	29.308	40.305	
	Vilarinho/Novo Eldorado	21.286	23.128	27.493	37.721	26.476	37.223	
LIN <sub>02</sub>	Barreiro/Nova Suíssa	9.158	13.334	8.094	11.268	8.051	11.318	
	Nova Suíssa/Barreiro	1.267	2.199	1.546	2.832	1.528	2.836	

Figura 138: Diferença de carregamento do cenário C1B em comparação ao cenário C0A



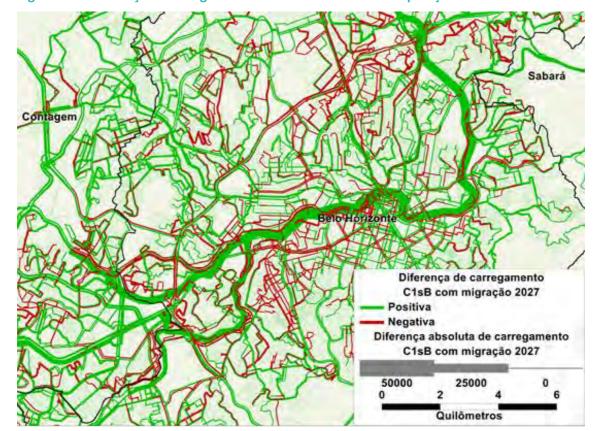


Figura 139: Diferença de carregamento do cenário C1sB em comparação ao cenário C0A

#### 8.3.2. MÉDIO PRAZO

A Tabela 32 apresenta o total de embarques para cada um dos sistemas em análise para os cenários de médio prazo.

Pelo total de embarques em cada sistema (Tabela 32), percebe-se que o sistema de trilhos, neste horizonte composto pelas melhorias e extensão da Linha 1 e pela inclusão da Linha 2 em diferentes configurações, mantem-se em proporção constante em relação aos sistemas de ônibus. Ou seja, o total de embarques nos trilhos representa cerca de 10% do total de embarques para todos os cenários de médio prazo. Dentre os sistemas de ônibus, o sistema metropolitano (SEINFRA) apresenta crescimento de 30% a 40% de embarques para as situações sem migração modal. Isto é resultado da tronco-alimentação da rede, incorporada nos projetos propostos para este horizonte. Com a migração modal, o crescimento de embarques da SEINFRA varia entre 88% e 95%.

Tabela 32: Embarques por sistemas - Médio prazo

	CoA	C <sub>2</sub> A		C <sub>2</sub> B		C2tA		C2tB		C2usB	
Sistemas	SemMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr
CBTU	45.723	88.987	113.142	101.927	144.423	76.813	98.084	88.695	124.748	89.647	126.248
Trem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trilhos	45.723	88.987	113.142	101.927	144.423	76.813	98.084	88.695	124.748	89.647	126.248
SEINFRA	241.296	333.741	469.505	320.581	453.289	335.287	471.337	322.093	455.239	322.222	459.608
BHTRANS	403.743	429.212	459.272	429.221	475.518	429.990	461.399	431.157	477.852	431.431	477.387
Demais mun.	54.760	47.870	58.349	51.703	69.132	47.850	58.226	51.498	69.207	54.125	79.829
Ônibus	699.798	810.823	987.127	801.505	997.940	813.127	990.962	804.749	1.002.298	807.779	1.016.824

Nos mapas da Figura 140, Figura 141 e Figura 142 são apresentados os carregamentos para os cenários de médio prazo C2B, C2tB e C2usB, respectivamente. Na Tabela 33 são apresentados os carregamentos críticos dos principais eixos de transporte por ônibus e na Tabela 34 são apresentados os carregamentos críticos para as linhas de trilhos. A diferença de carregamento dos cenários C2B, C2tB e C2suB com o cenário de referência CoA é apresentada nos mapas da Figura 143, Figura 144 e Figura 145, respectivamente.

O horizonte de médio prazo conta com a oferta de metrô de 2027 e os projetos de extensão da Linha 2 - Barreiro/Santa Tereza e a criação da linha 3 de metrô - Savassi/Lagoinha. A Linha 2 também é simulada em diferentes configurações, nos cenários C2t e C2us, conforme descrito no item 7.3. Nas novas configurações a demanda da Linha 2 é menor em relação às configurações iniciais (C2A e C2B), fato que se explica pela eliminação do trecho da Linha 2, entre Calafate e Santa Tereza. O trecho eliminado da Linha 2 tem por causa a alteração da diretriz de traçado da Linha 2 para o eixo da Avenida Amazonas, no cenário de longo prazo. Esta nova diretriz beneficiará um volume de passageiros bem mais expressivo que a diretriz que considera o trecho comum com a Linha 1 entre Nova Suíssa e Carlos Prates.

A Linha 1 atinge carregamento máximo entre 20.000 passageiros e 30.000 passageiros, sem considerar a migração modal. Com a migração modal o carregamento crítico passa a ser da ordem de 40.000 passageiros, considerando os cenários com integração tarifária (C2B, C2tB e C2usB), conforme apresentado na Tabela 34.

Já a Linha 2 atinge um carregamento máximo de até 18.000 passageiros nos cenários originais C2A e C2B. Como pode ser visto na Tabela 34, esta carga máxima diminui para cerca de 14.000 passageiros nas três horas simuladas nas configurações alternativas (C2tA, C2tB e C2usB), visto que tais configurações diminuem o alcance da Linha 2 nas regiões mais centrais, típicos destinos dos usuários.

O carregamento da linha 3, entre Savassi e Lagoinha, é menos significativo, uma vez que a extensão do trecho é pequena e ele atende a uma demanda de escala municipal. Assim, o projeto alcança, com migração modal, cerca de 8.500 passageiros em 3h de pico para este horizonte, conforme mostra a Tabela 34.

A partir da análise dos mapas de diferença de carregamento (Figura 143, Figura 144 e Figura 145), observa-se que os novos usuários do metrô são atraídos de linhas de ônibus concorrentes e que a Linha 1 cede uma parte do seu carregamento à Linha 2 de metrô, principalmente na região central de Belo Horizonte.

Os carregamentos críticos dos projetos incluídos nas simulações no horizonte de médio prazo podem ser vistos na Tabela 33. Percebe-se que o existente BRT da Antônio Carlos é o eixo mais carregado no cenário de referência (CoA), e segue sendo o mais carregado para todas as configurações de projetos no médio prazo, assim como no curto prazo (item 8.3.1). O BRT da Pedro I, também existente, é o segundo eixo mais carregado também para todas as configurações de médio e curto prazo.

Dentre os eixos em que há projetos considerados, destacam-se os projetos de BRS do Corredor Amazonas e do Corredor Contorno/Andradas/Assis Chateaubriand, bem como o BRT Morro Alto. Este são eixos que já possuem alta carga crítica no cenário de referência, que não

aumentam significativamente com a inclusão dos projetos a médio prazo. Ainda assim, a alta carga crítica atual indica que a quantidade de usuários beneficiados pela inclusão destes projetos é alta.

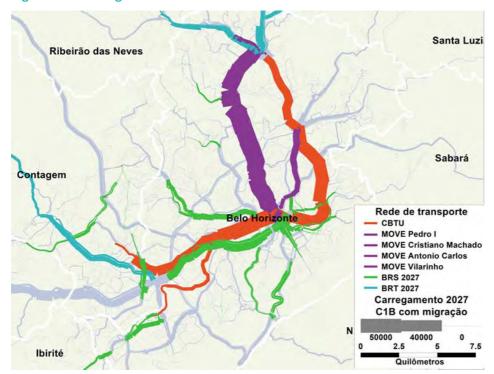


Figura 140: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C2B

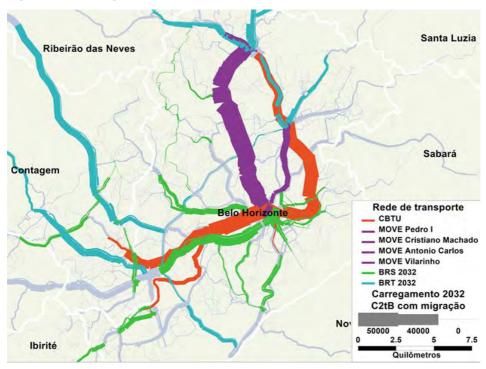


Figura 141: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C2tB

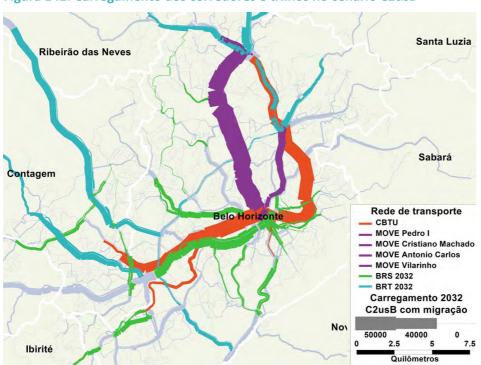


Figura 142: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C2usB

Tabela 33: Carregamento crítico dos eixos de transporte no médio prazo (2032)

Fire	CoA	C2	2A	Cz	2B	C2	tA	C2tB		C21	ısB
Eixos	semMigr	semMigr	comMigr	semMigr	comMigr	semMigr	comMigr	semMigr	comMigr	semMigr	comMigr
BRT Antonio Carlos	67.8340(SN)	68.189 (SN)	71.243 (SN)	65.631 (SN)	68.848 (SN)	68.211 (SN)	71.355 (SN)	65.751 (SN)	69.002 (SN)	65.752 (SN)	68.971 (SN)
BRT Cristiano Machado	22.978 (SN)	25.584 (SN)	26.801 (SN)	22.697 (SN)	24.134 (SN)	25.673 (SN)	26.871 (SN)	22.776 (SN)	24.242 (SN)	23.151 (SN)	25.706 (SN)
BRT Pedro I	52.460 (SN)	53.195 (SN)	55.922 (SN)	50.886 (SN)	53.784 (SN)	53.185 (SN)	56.033 (SN)	50.999 (SN)	53.918 (SN)	51.011 (SN)	53.995 (SN)
BRT Vilarinho	17.620 (OL)	16.979 (OL)	17.530 (OL)	16.458 (OL)	17.432 (OL)	16.884 (OL)	17.541 (OL)	16.503 (OL)	17.472 (OL)	16.481 (OL)	17.435 (OL)
P21_BRS Afonso Pena	15.447 (SN)	15.878 (SN)	16.725 (SN)	15.921 (SN)	17.858 (SN)	16.074 (SN)	16.953 (SN)	16.412 (SN)	18.517 (SN)	16.377 (SN)	18.413 (SN)
P22_BRS N. Senhora do Carmo	9.895 (NS)	10.446 (NS)	10.857 (NS)	10.144 (NS)	10.690 (NS)	10.473 (NS)	10.883 (NS)	10.132 (NS)	10.643 (NS)	10.351 (NS)	10.880 (NS)
P23_ Faixa exclusiva Área Central	13.901	13.889	14.341	13.581	14.580	14.124	14.654	13.947	15.051	13.945	15.045
P23_ Faixa exclusiva Av. Portugal	9.689 (LO)	9.686 (LO)	10.077 (LO)	9.477 (LO)	9.965 (LO)	9.692 (LO)	10.070 (LO)	9.484 (LO)	9.965 (LO)	9.482 (LO)	9.968 (LO)
P23_Faixa Exclusiva R. Henrique Badaró	139 (SN)	137 (SN)	138 (SN)	138 (SN)	139 (SN)	137 (SN)	138 (SN)	138 (SN)	139 (SN)	138 (SN)	139 (SN)
P23_Faixa Exclusiva R. C. do Mato Dentro	5.609 (LO)	5.853 (LO)	5.991 (LO)	5.650 (LO)	5.921 (LO)	5.869 (LO)	5.977 (LO)	5.643 (LO)	5.925 (LO)	5.647 (LO)	5.927 (LO)
P23_Faixa exclusiva R. Pe. Eustaquio	18.154 (LO)	19.461 (LO)	20.211 (LO)	19.704 (LO)	21.138 (LO)	19.514 (LO)	20.232 (LO)	19.743 (LO)	21.181 (LO)	19.779 (LO)	21.186 (LO)
P23_ Faixa exclusiva R. Pe. Pedro Pinto	16.577 (LO)	16.329 (LO)	18.055 (LO)	16.712 (LO)	19.886 (LO)	16.332 (LO)	18.034 (LO)	16.691 (LO)	19.840 (LO)	16.691 (LO)	19.839 (LO)
P23_Sinfronio Brochado	14.174 (LO)	14.943 (LO)	17.897 (LO)	14.893 (LO)	18.559 (LO)	14.928 (LO)	17.697 (LO)	14.918 (LO)	18.312 (LO)	14.706 (LO)	18.192 (LO)
P25_BRS Amazonas	31.167 (LO)	27.693 (LO)	29.965 (LO)	27.092 (LO)	28.846 (LO)	29.033 (LO)	31.570 (LO)	28.060 (LO)	30.327 (LO)	28.992 (LO)	31.258 (LO)
P26_BRS Contorno/	26.605 (LO)	26.682 (LO)	28.146 (LO)	24.917 (LO)	26.389 (LO)	27.100 (LO)	28.638 (LO)	25.448 (LO)	26.968 (LO)	25.434 (LO)	27.046 (LO)
Andradas/A. Chateaubriand	• • •					, , ,		- ''			
P27_BRS Raja Gabáglia	10.038 (SN)	11.152 (SN)	14.001 (SN)	10.784 (SN)	12.438 (SN)	11.166 (SN)	14.011 (SN)	10.821 (SN)	12.484 (SN)	10.948 (SN)	12.582 (SN)
P29_BRS Barão Homem de Melo	3.622 (NS)	3.792 (NS)	3.974 NS)	4.014 (NS)	4.487 (SN)	3.779 (NS)	3.984 (NS)	4.047 (NS)	4.507 (NS)	4.000 (NS)	4.402 (SN)
P <sub>3</sub> o_BRS Rota Noroeste	3.768 (NS)	5.106 (SN)	5.399 (SN)	4.845 (SN)	5.368 (SN)	5.128 (SN)	5.393 (SN)	4.844 (SN)	5.369 (SN)	4.844 (SN)	5.372 (SN)
P <sub>35</sub> _BRS Corredor Leste-Oeste	5.729 (LO)	8.193 (LO)	11.538 (LO)	8.o <sub>3</sub> 6 (LO)	11.187 (LO)	8.119 (LO)	11.504 (LO)	7.955 (LO)	11.183 (LO)	8.017 (LO)	11.174 (LO)
P <sub>3</sub> 6_BRS Corredor Ressaca	14.705 (NS)	13.005 (NS)	18.625 (NS)	13.800 (NS)	19.263 (NS)	13.270 (NS)	18.819 (NS)	14.173 (NS)	19.531 (NS)	14.098 (NS)	19.287 (NS)
P <sub>39</sub> BRS Corredor Sudoeste	14.659 (LO)	15.320 (LO)	18.647 (LO)	15.580 (LO)	19.607 (LO)	15.313 (LO)	18.444 (LO)	15.604 (LO)	19.369 (LO)	15.409 (LO)	19.259 (LO)
P10_BRT BR-040	9.88o (SN)	13.004 (SN)	25.125 (SN)	13.158 (SN)	25.381 (SN)	13.003 (SN)	25.104 (SN)	13.128 (SN)	25.307 (SN)	13.115 (SN)	25.269 (SN)
P28_BRT Anel Rodoviário	9.471 (SN)	10.830 (SN)	14.011 (SN)	10.672 (SN)	13.276 (SN)	10.871 (SN)	14.032 (SN)	10.650 (SN)	13.273 (SN)	10.859 (SN)	13.437 (SN)
P24_BRT Complemento C. Machado	18.874 (OL)	20.610 (OL)	22.853 (OL)	18.520 (OL)	21.694 (OL)	20.635 (OL)	22.856 (OL)	18.553 (OL)	21.652 (OL)	18.749 (OL)	22.873 (OL)
P <sub>34</sub> _BRT Norte-Sul	14.259 (LO)	16.896 (LO)	23.909 (LO)	16.627 (LO)	23.078 (LO)	16.923 (LO)	23.980 (LO)	16.600 (LO)	23.181 (LO)	16.611 (LO)	22.984 (LO)
P46_BRT Av. Brasília (S. Benedito)	13.615 (OL)	13.037 (OL)	13.704 (OL)	12.934 (OL)	14.911 (OL)	13.005 (OL)	13.636 (OL)	12.925 (OL)	14.853 (OL)	13.079 (OL)	15.441 (OL)
P <sub>47</sub> _BRT LMG-8o6(Justinópolis)	16.577 (LO)	16.329 (LO)	18.055 (LO)	16.712 (LO)	19.886 (LO)	16.332 (LO)	18.034 (LO)	16.691 (LO)	19.840 (LO)	16.691 (LO)	19.839 (LO)
P <sub>53</sub> _BRT Morro Alto	24.192 (SN)	25.507 (SN)	27.434 (SN)	25.274 (SN)	29.155 (SN)	25.494 (SN)	27.430 (SN)	25.266 (SN)	29.075 (SN)	25.196 (SN)	29.284 (SN)

<sup>\*</sup> SN (Sul-Norte); NS (Norte-Sul); LO (Leste-Oeste); OL (Oeste-Leste); AH (Anti-horário); HA (Horário).

Tabela 34: Carregamento crítico dos trilhos (CBTU e Trem) no médio prazo (2032)

Linha	Sentido	C2A		C2B		C2tA		C2tB		C2usB	
		SemMigr	ComMigr								
LINo1	Novo Eldorado/Vilarinho	21.541	28.289	22.539	30.877	20.811	27.340	21.589	29.459	29.085	40.068
	Vilarinho/Novo Eldorado	22.490	25.510	29.548	41.121	21.953	24.410	28.773	39.606	28.514	39.625
LIN02	Barreiro/Santa Tereza	11.881	17.482	11.750	17.922	-	-	-	-	-	-
	Santa Tereza/Barreiro	9.526	11.507	11.723	16.852	-	-	-	-	-	-
	Barreiro/Central	-	-	-	-	9.738	13.941	9.998	14.234	-	-
	Central/Barreiro	-	-	-	-	1.801	2.602	2.092	3.275	-	-
	Barreiro/Nova Suíssa	-	-	-	-	-	-	-	-	7.492	10.812
	Nova Suíssa/Barreiro	-	-	-	-	-	-	-	-	1.244	2.196
LINo <sub>3</sub>	Lagoinha/Savassi	1.958	3.134	2.499	3.934	5.101	8.023	6.430	9.539	5.619	8.470
	Savassi/Lagoinha	818	904	906	1.012	432	600	425	625	397	628

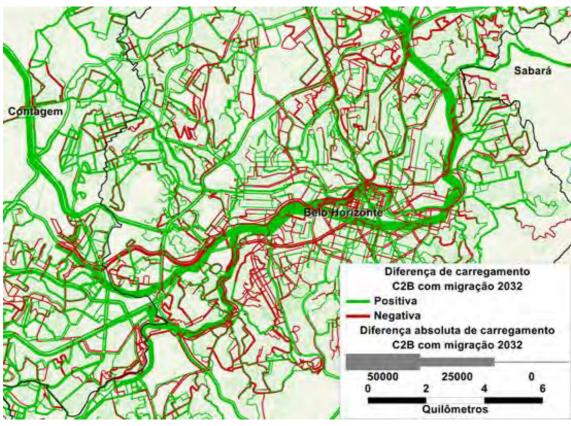


Figura 143: Diferença de carregamento do cenário C2B em comparação ao cenário C0A

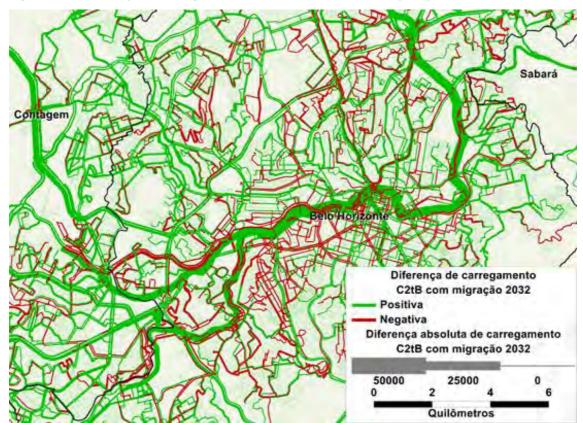


Figura 144: Diferença de carregamento do cenário C2tB em comparação ao cenário C0A

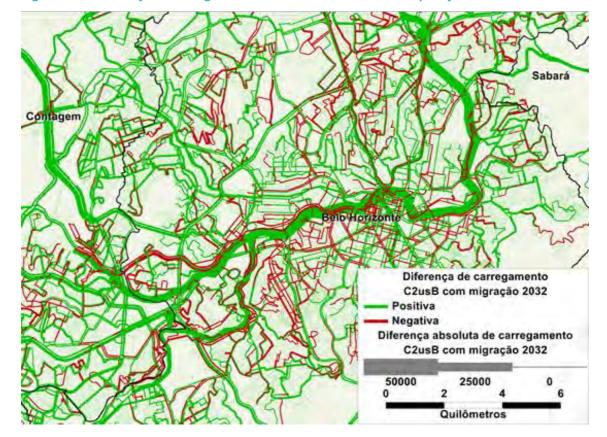


Figura 145: Diferença de carregamento do cenário C2usB em comparação ao cenário C0A

#### 8.3.3. LONGO PRAZO

A Tabela 35 apresenta o total de embarques para cada um dos sistemas em análise para os cenários de longo prazo. As variações porcentuais dos embarques, em relação ao cenário de referência CoA são apresentadas na Tabela 35.

Neste horizonte, o sistema de trilhos é composto por:

- **CBTU**: melhorias e extensão da Linha 1, pelos traçados completos da Linha 2 e da Linha 3 e pelo Metro Leve (cenários C3tA, C3tB e C3usB)
- Trem: Linha A, Linha B, Linha C e Metro Leve (cenários C<sub>3</sub>A e C<sub>3</sub>B)

Pelo total de embarques em cada sistema (Tabela 35), percebe-se que a quantidade de embarques no sistema de trilhos aumenta bastante. Aumenta também a proporção de embarques dos trilhos, ou seja, que passa a representar de 15% a 25% do total de embarques, enquanto no cenário de referência CoA está proporção era de 6%. Estes aumentos são esperados, uma vez que, no longo prazo, há a inserção de uma grande quantidade de projetos de trilhos, com grandes extensões em cada projeto.

Dentre os sistemas de ônibus, o sistema de ônibus metropolitano (SEINFRA) apresenta crescimento de cerca de 30% de embarques para as situações sem migração modal. Isto é resultado da tronco-alimentação da rede, incorporada nos projetos propostos para este horizonte. Com a migração modal, o crescimento de embarques da SEINFRA varia entre 83% e 97%.

Tabela 35: Embarques por sistemas - Longo prazo

	CoA	C <sub>3</sub> A		C <sub>3</sub> B		C <sub>3</sub> tA		C <sub>3</sub> tB		C <sub>3</sub> usB	
Sistemas	SemMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr
CBTU	45.723	120.246	163.729	140.016	200.838	200.197	272.233	206.118	290.467	201.794	280.599
Trem	-	21.934	46.318	17.780	39.213	12.288	23.340	9.431	19.020	7.444	14.086
Trilhos	45.723	142.180	210.046	157.796	240.051	200.197	272.233	206.118	290.467	209.239	294.686
SEINFRA	241.296	321.411	456.041	310.431	441.831	321.366	474.426	310.216	457.183	314.127	461.636
BHTRANS	403.743	417.732	457.983	416.387	472.342	392.622	437.308	394.812	456.464	397.364	458.728
Demais mun.	54.760	49.054	57.969	54.022	68.634	50.094	64.818	55.220	74.830	56.494	80.106
Ônibus	699.798	788.197	971.993	780.840	982.807	764.081	976.551	760.248	988.477	767.985	1.000.470

Nos mapas da Figura 146, Figura 147 e Figura 148 são apresentados os carregamentos para os cenários de longo prazo C<sub>3</sub>B, C<sub>3</sub>tB e C<sub>3</sub>usB, respectivamente. Na Tabela 36 são apresentados os carregamentos críticos dos principais eixos de transporte por ônibus, e na Tabela 37 são apresentados os carregamentos críticos para as linhas de trilhos. A diferença de carregamento dos cenários C<sub>3</sub>B, C<sub>3</sub>tB e C<sub>3</sub>suB com o cenário de referência CoA é apresentada nos mapas da Figura 149, Figura 150 e Figura 151, respectivamente.

A Linha 1 atinge carregamento máximo entre 20.700 passageiros e 33.000 passageiros, sem considerar a migração modal. Com a migração modal o carregamento crítico passa a ser de mais de 40.000 passageiros, considerando os cenários com integração tarifária (C<sub>3</sub>B, C<sub>3</sub>tB e C<sub>3</sub>usB), conforme apresentado na Tabela 37.

Já a Linha 2 atinge um carregamento de máximo de até 12.000 passageiros nos cenários originais C<sub>3</sub>A e C<sub>3</sub>B. Como pode ser visto na Tabela 37, esta carga máxima aumenta para cerca de 40.000 passageiros nas três horas simuladas nas configurações alternativas (C<sub>3</sub>tA, C<sub>3</sub>tB e C<sub>3</sub>usB), mostrando o alto potencial da Linha 2 quando seu traçado atende regiões mais centrais, típicos destinos dos usuários.

O carregamento da Linha 3, entre Pampulha e Morro do Papagaio, chega a 37.000 passageiros em 3h de pico, para a configuração C3usB com migração modal.

Como pode ser visto na Tabela 37 e também dos mapas da Figura 146, Figura 147 e Figura 148, as demandas metropolitanas atendidas pelas Linhas B e C não atraíram carregamentos compatíveis com serviços de alta capacidade.

Assim como no horizonte 2032, observa-se uma redução mais significativa no carregamento dos corredores da Avenida Amazonas e Via Expressa em relação ao cenário de referência, apresentadas em vermelho nos mapas da Figura 149, Figura 150 e Figura 151. Esta demanda é, em parte, transferida para ofertas de metrô e trem de alta capacidade, cujas condições de correspondência entre sistemas são favorecidas pela estratégia de seccionamento das linhas municipais e troncais. Neste cenário, a Linha 3 absorve parte da demanda do corredor Antônio Carlos (em vermelho) em razão das melhores condições de serviço e de transferência oferecidas por este serviço.

Os carregamentos críticos dos projetos incluídos nas simulações no horizonte de longo prazo podem ser vistos na Tabela 36. Percebe-se que o existente BRT da Antônio Carlos é o eixo mais carregado no cenário de referência (CoA) e que, a partir da implantação da Linha 3, nos cenários originais C3A e C3B, parcela significativa da demanda se transfere para o metrô. Contudo, foram mantidas as linhas troncais diretas que partem dos terminais de ponta de Justinópolis, Morro Alto e São Benedito, oferecendo um serviço mais rápido para quem se destina ao centro de Belo Horizonte. Para as configurações alternativas, C3tA, C3tB e C3usB, há ainda uma reestruturação das linhas que atendem este corredor, tornando-as alimentadoras do serviço troncal de trilho da Linha 3. Estas diferenças podem ser vistas também nos mapas de diferença de carregamento da Figura 149, Figura 150 e Figura 151.

O BRT da Avenida Pedro I, também existente, é o segundo eixo mais carregado, e mantém seu nível de carregamento no horizonte de longo prazo., o que sugere que, nas próximas revisões

do PlanMob RMBH, seja estudado o prolongamento da Linha 3 até o Terminal Vilarinho, pela diretriz desta avenida.

Dentre os eixos em que há projetos considerados, destacam-se os projetos de BRS do Corredor Amazonas e do Corredor Contorno/Andradas/Assis Chateaubriand, bem como o BRT Morro Alto. Estes são eixos que já possuem alta carga crítica no cenário de referência, e cujas cargas críticas não aumentam significativamente com a inclusão dos projetos a longo prazo. Ainda assim, a alta carga crítica atual indica que a quantidade de usuários beneficiados pela inclusão destes projetos é alta. No eixo do Corredor Amazonas, nas configurações alternativas (C3tA, C3tB e C3usB), dado o prolongamento da Linha 2 até a Área Hospitalar na diretriz da Avenida Amazonas, parte importante dos usuários se transfere para o este novo modo, conforme se observa nos mapas de diferença de carregamento da Figura 149, Figura 150 e Figura 151.

Destacam-se ainda alguns corredores com projetos que alcançam mais de 21.000 passageiros nas 3 horas de simulação em situações com migração modal: Padre Eustáquio, Sinfrônio Brochado, BRS Corredor Sudoeste, BRT BR-040, BRT Complemento BRT Cristiano Machado e BRT Corredor Norte-Sul.

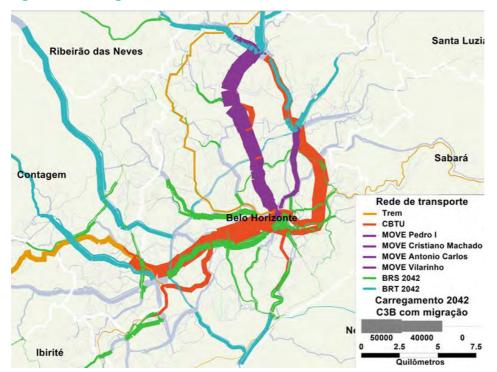


Figura 146: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C3B

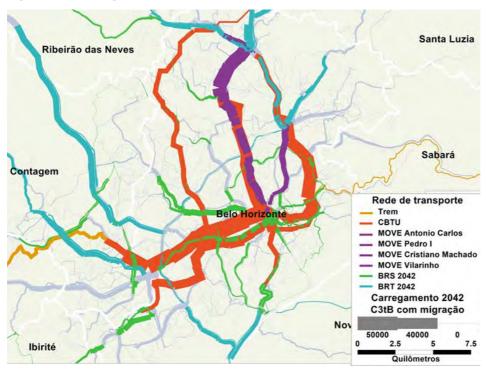


Figura 147: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C3tB

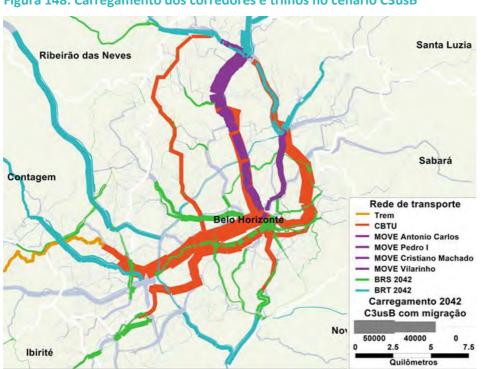


Figura 148: Carregamento dos corredores e trilhos no cenário C3usB

Tabela 36: Carregamento crítico dos eixos de transporte no longo prazo (2042)

Eixos	СоА		C3A		C <sub>3</sub> B		C	gtA	C <sub>3</sub>	tB	C <sub>3</sub>	usB
	semN	1igr sen	nMigr con	nMigr se	emMigr comM	ligr .	semMigr	comMigr	semMigr	comMigr	semMigr	comMigr
BRT Antonio Carlos		67,834 (SN)	57,281 (SN)	60,078 (SN)	53,821 (SN)	56,753 (SI	N) 37,000 (SN)	39,414 (SN)	34,219 (SN)	36,495 (SN)	35,165 (SN)	37,975 (SN)
BRT Cristiano Machado	:	22,978 (SN)	24,200 (SN)	25,855 (SN)	21,292 (SN)	23,056 (SI	V) 24,936 (SN)	26,504 (SN)	21,476 (SN)	23,247 (SN)	22,138 (SN)	24,766 (SN)
BRT Pedro I		52,460 (SN)	52,210 (SN)	54,898 (SN)		52,754 (SI	N) 47,957 (SN)	51,380 (SN)	43,425 (SN)	47,737 (SN)	44,775 (SN)	49,563 (SN)
BRT Vilarinho	:	17,620 (OL)	16,682 (OL)	17,333 (OL)	16,326 (OL)	17,386 (O	L) 18,214 (OL)	19,375 (OL)	16,644 (OL)	18,040 (OL)	17,915 (OL)	19,185 (OL)
Po8_BRS Céu Azul - Ribeirão das Neves		6,617 (LO)	7,334 (LO)	9 <b>,</b> 039 (LO)	7,277 (LO)	8,982 (L0	O) 7,945 (LO)	9,755 (LO)	8,030 (LO)	10,208 (LO)	8,056 (LO)	10,183 (LO)
P21_BRS Afonso Pena		15,447 (SN)	13,570 (SN)	14,829 (SN)		15,718 (Si	N) 11,708 (SN)	12,674 (SN)	12,513 (SN)	14,407 (SN)	12,466 (SN)	14,378 (SN)
P22_BRS N. Senhora do Carmo		9,895 (NS)	10,125 (NS)	10,598 (NS)	9,504 (NS)	10,008 (N	S) 7,037 (SN)	12,024 (SN)	7,265 (NS)	9,718 (SN)	7,265 (NS)	9,723 (SN)
P23_ Faixa exclusiva Área Central		13,901	13,087	13,720	12,815	13,8	71 12,595	13,417	12,452	13,524	12,423	13,262
P23_ Faixa exclusiva Av. Portugal		9,689 (LO)	10,491 (LO)	11,345 (LO)	11,865 (LO)	14,016 (LC	O) 9,575 (LO)	10,386 (LO)	10,698 (LO)	12,651 (LO)	10,700 (LO)	12,648 (LO)
P23_Faixa Exclusiva R. Henrique Badaró		139 (SN)	131 (SN)	132 (SN)	131 (SN)	132 (SI	N) 73 (SN)	75 (SN)	126 (SN)	127 (SN)	126 (SN)	127 (SN)
P23_Faixa Exclusiva R. Conceição do Mato Dentro		5,609 (LO)	5,656 (LO)	6 <b>,</b> 122 (LO)	5,347 (LO)	5,961 (LC	5,603 (LO)	5,899 (LO)	5,346 (LO)	5,825 (LO)	5,363 (LO)	5,844 (LO)
P23_Faixa exclusiva R. Pe. Eustaquio		18,154 (LO)	19,765 (LO)	20,452 (LO)		21,624 (LC	D) 19,711 (LO)	20,381 (LO)	19,657 (LO)	21,540 (LO)	19,659 (LO)	21,550 (LO)
P23_ Faixa exclusiva R. Pe. Pedro Pinto		16,577 (LO)	15,841 (LO)	18,122 (LO)	15,878 (LO)	18,623 (LC	D) 16,227 (LO)	19,449 (LO)	16,234 (LO)	20,376 (LO)	16,545 (LO)	20,653 (LO)
P23_ Faixa exclusiva Área Central		14,174 (LO)	14,858 (LO)	18,055 (LO)	15,078 (LO)	18,724 (L0	D) 16,617 (LO)	20,045 (LO)	17,433 (LO)	21,453 (LO)	17,430 (LO)	21,469 (LO)
P25_BRS Amazonas		31,167 (LO)	23,895 (LO)	25,708 (LO)	23,152 (LO)	24,787 (LC	) 15,480 (OL)	16,083 (OL)	15,223 (OL)	15,776 (OL)	15,233 (OL)	15,884 (OL)
P26_BRS Contorno/Andradas/Assis Chateaubriand		26,605 (LO)	24,889 (LO)	26,231 (LO)	23,103 (LO)	24,609 (LC	D) 22,619 (LO)	24,379 (LO)	20,834 (LO)	22,349 (LO)	21,016 (LO)	22,363 (LO)
P27_BRS Raja Gabaglia		10,038 (SN)	11,348 (SN)	13,410 (SN)	11,025 (SN)	12,663 (SI	N) 11,736 (SN)	15,667 (SN)	10,596 (SN)	13,481 (SN)	10,607 (SN)	13,503 (SN)
P29_BRS Barão Homem de Melo		3,622 (NS)	4,672 (SN)	5,135 (SN)	5,249 (SN)	6,465 (\$1	N) 4,713 (SN)	5,178 (SN)	5,128 (SN)	6,358 (SN)	5,143 (SN)	6,364 (SN)
P <sub>3</sub> o_BRS Rota Noroeste		3,768 (NS)	3,861 (NS)	4,561 (NS)	3,382 (NS)	4,347 (N	S) 3,640 (NS)	4,121 (NS)	3,306 (NS)	4,095 (NS)	3,338 (NS)	4,117 (NS)
P <sub>35</sub> _BRS Corredor Leste-Oeste		5,729 (LO)	7,906 (LO)	10,675 (LO)	7,734 (LO)	10,449 (L(	O) 8,392 (LO)	10,955 (LO)	8,448 (LO)	10,999 (LO)	8,435 (LO)	10,973 (LO)
P36_BRS Corredor Ressaca		14,705 (NS)	12,717 (NS)	17,179 (NS)	13,472 (NS)	18,349 (N	S) 12,943 (NS)	18,315 (NS)	14,088 (NS)	19,776 (NS)	14,208 (NS)	20,079 (NS)

Eixos	СоА		C <sub>3</sub>	Α			С3В		C <sub>3</sub>	tA	C <sub>3</sub>	tB	C <sub>3</sub> :	usB
	ser	mMigr	semMigr	con	nMigr se	mMigr c	omMigr	sen	nMigr	comMigr	semMigr	comMigr	semMigr	comMigr
P39_BRS Corredor Sudoeste		14,659 (L	O) 15,47	ı (LO)	19 <b>,</b> 117 (LO)	15,90 (LC		20,097 (LO)	17,292 (LO)	21,064 (LO)	18,192 (LO)	22,652 (LO)	18,189 (LO)	22,668 (LO)
P52_BRS Diametral		9 <b>,</b> 222 (H	A) 8,982	(HA)	10,675 (AH)	8,636 (H	<b>A</b> )	10,449 (AH)	8,392 (AH)	10,955 (AH)	8,448 (AH)	10,999 (AH)	8,435 (AH)	10,973 (AH)
P58_BRS Anel Intermediário Complemen	to	9,705 (H	A) 10,276	(HA)	10,958 (HA)	9,389 (H	<b>A</b> )	10,188 (HA)	10,277 (HA)	11,087 (HA)	9,395 (HA)	10,308 (HA)	9,429 (HA)	10,353 (HA)
P10_BRT BR-040		9 <b>,</b> 88o (S	N) 13,41	(SN)	25 <b>,</b> 133 (SN)	13,496 (SN	1)	23,371 (SN)	13,073 (SN)	24,989 (SN)	12,990 (SN)	22,733 (SN)	12,929 (SN)	22,689 (SN)
P24_BRT Complemento Cristiano Machac	do	18 <b>,</b> 874 (C	DL) 20,26	3 (OL)	22 <b>,</b> 865 (OL)	18,28 (Ol		21,581 (OL)	20,152 (OL)	23,045 (OL)	18,006 (OL)	21,905 (OL)	18,463 (OL)	22,784 (OL)
P28_BRT Anel Rodoviário		9,471 (S	N) 10,58	3 (SN)	12,896 (SN)	10,28 (SN		12,785 (SN)	10,441 (SN)	14,568 (SN)	10,269 (SN)	14,803 (SN)	10,269 (SN)	14,812 (SN)
P <sub>34</sub> _BRT Corredor Norte-Sul		14,259 (L	0) 17,36	(LO)	23,141 (LO)	17,016 (LC	))	22,268 (LO)	17,236 (LO)	22,977 (LO)	17,111 (LO)	22,610 (LO)	17,136 (LO)	22,641 (LO)
P41_BRT Via Estruturante Sul			- 1,139	(OL)	1,390 (OL)	1,166 (OI	_)	1,495 (OL)	1,290 (OL)	2,031 (OL)	1,294 (OL)	2,082 (OL)	1,290 (OL)	2,056 (OL)
P46_BRT Av. Brasília (São Benedito)		13,615 (C	)L) 13,03	3 (OL)	13,788 (OL)	12,96 (OI		14,845 (OL)	13,784 (OL)	16,067 (OL)	13,388 (OL)	16,849 (OL)	13,545 (OL)	17,230 (OL)
P <sub>47</sub> _BRT LMG-8o6 (Justinópolis)		16,577 (L	O) 15,86	(OL)	18,122 (LO)	15,878 (LC	0)	18,623 (LO)	17,651 (OL)	19,449 (LO)	16,234 (LO)	20 <b>,</b> 376 (LO)	17,063 (OL)	20,653 (LO)
P <sub>53</sub> _BRT Morro Alto		24,1 (S	92 2 N)	4,485 (SN)	27 <b>,</b> 191 (SN)	24,76 (SN		29,271 (SN)	26,736 (SN)	30,501 (SN)	25,581 (SN)	31,756 (SN)	27,278 (SN)	34,606 (SN)
P <sub>54</sub> _BRT Extensão 220		2,668 (C	)L) 3,198	3 (OL)	3,469 (OL)	3,180 (OI	_)	3,591 (OL)	3,770 (OL)	3,889 (OL)	3,670 (OL)	4,070 (OL)	3,681 (OL)	4,067 (OL)
P <sub>55</sub> _BRT Vera Cruz de Minas		2,140 (L	O) 2,372	(LO)	2,619 (LO)	2,324 (LC	D)	2,739 (LO)	2,850 (LO)	3,366 (LO)	2,680 (LO)	3,415 (LO)	2,643 (LO)	3,390 (LO)
P <sub>5</sub> 6_BRT Corredor Sul		9,614 (N	IS) 10,60	(NS)	12,563 (NS)	10,169 (N	5)	12,354 (NS)	10,098 (NS)	13,466 (NS)	9,881 (NS)	13,499 (NS)	9,886 (NS)	13,526 (NS)

<sup>\*</sup> SN (Sul-Norte); NS (Norte-Sul); LO (Leste-Oeste); OL (Oeste-Leste); AH (Anti-horário); HA (Horário).

Tabela 37: Carregamento crítico dos trilhos (CBTU e Trem) no longo prazo (2042)

Linha	a Sentido		C <sub>3</sub> A		βВ	C <sub>3</sub> tA		C <sub>3</sub> tB		C <sub>3</sub> usB	
LIIIIId	Seritiuu	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr
Lino1	Novo Eldorado/Vilarinho	26.978	38.887	28.544	41.845	31.279	44.411	32.917	47.194	31.453	44.680
	Vilarinho/Novo Eldorado	20.789	26.054	28.211	39.285	20.958	27.180	26.664	37.540	26.548	36.915
LIN02	Barreiro/Santa Tereza	14.849	22.232	14.302	21.849	-	-	-	-	-	-

Linha	Sentido	C	3 <b>A</b>	C	зВ	C3	tΑ	C3	tB	C31	JsB
LITITIA	- Sentido -	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr	SemMigr	ComMigr
	Santa Tereza/Barreiro	8.812	11.570	11.283	16.283	-	-	-	-	-	-
	Barreiro/Santa Tereza (via Amazonas)	-	-	-	-	30.210	40.038	28.678	37.932	28.798	37.816
	Santa Tereza/Barreiro (via Amazonas)	-	-	-	-	5.636	7.682	6.128	8.773	6.199	9.082
LINo <sub>3</sub>	Pampulha/Morro do Papagaio	13.021	14.831	18.470	22.552	29.643	33.045	30.831	36.982	31.299	37-375
	Morro do Papagaio/Pampulha	1.723	2.897	2.133	3.699	8.133	9.809	6.615	8.144	6.611	8.129
LIN-MetroLeve	Metro Leve (Aeroporto/Lagoinha)	6.073	10.266	3.210	6.317	-	-	-	-	-	-
	Metro Leve (Lagoinha/Aeroporto)	382	996	346	952	-	-	-	-	-	-
LIN-MetroLeve	Metro Leve (Morro Alto/ Estação Amazonas)	-	-	-	-	9.840	15.019	10.845	18.087	-	-
	Metro Leve (Estação Amazonas/Morro Alto)	-	-	-	-	1.629	2.661	1.436	2.336	-	-
	Metro Leve (Venda Nova/ Estação Amazonas)	-	-	-	-	-	-	-	-	9.293	15.031
	Metro Leve (Estação Amazonas/Venda Nova)	-	-	-	-	-	-	-	-	1.362	2.255
LINoA	Betim/Contagem/Nova Lima	8.577	18.942	7-997	17.655	-	-	-	-	-	-
	Nova Lima/Contagem/Betim	1.403	1.934	1.260	1.566	-	-	-	-	-	-
	Betim (Alterosas)/Novo Eldorado	-	-	-	-	9.899	17.592	7.229	13.244		
	Novo Eldorado/Betim (Alterosas)	-	-	-	-	423	808	382	891		
	Betim (Imbiruçu)/Novo Eldorado	-	-	-	-	-	-	-	-	6.928	12.437
	Novo Eldorado/Betim (Imbiruçu)	-	-	-	-	-	-	-	-	382	850
LINoB	Nova Lima/Horto	970	2.626	914	2.575	-	-	-	-	-	-
	Horto/Nova Lima	256	580	233	525	-	-	-	-	-	-
	Caeté/Sabará (P <sub>57</sub> )	509	1.487	458	1.434	-	-	-	-	-	-
	Sabará/Caeté (P57)	159	534	165	522	-	-	-	-	-	-
	Sabará/Horto					1.201	2.703	1.126	2.762	-	-
	Horto/Sabará					358	831	321	862	-	-
LINoC	Pedro Leopoldo/São Gabriel	436	813	285	605	-	-	-	-	-	-
	São Gabriel/Pedro Leopoldo	120	670	71	290	-	-	-	-	-	-

Contagem

Diferença de carregamento
C3B com migração 2042

Positiva

Negativa
Diferença absoluta de carregamento
C3B com migração 2042

50000 25000 0
0 2 4 6
Quilômetros

Figura 149: Diferença de carregamento do cenário C3B em comparação ao cenário C0A

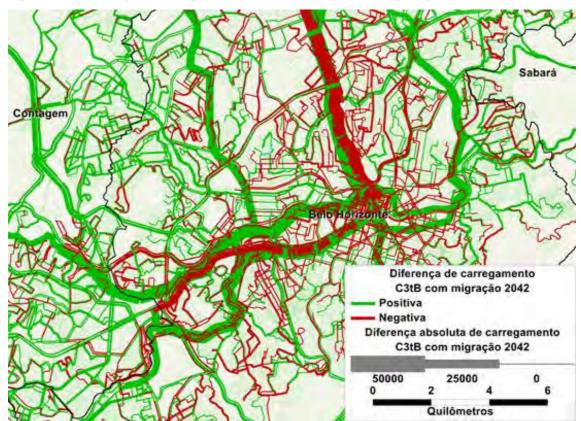


Figura 150: Diferença de carregamento do cenário C3tB em comparação ao cenário C0A

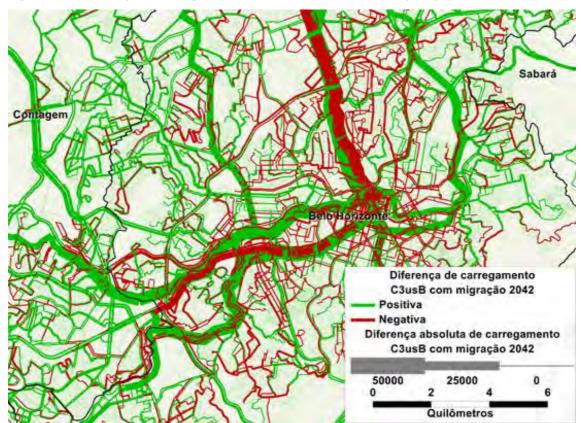


Figura 151: Diferença de carregamento do cenário C3usB em comparação ao cenário C0A

#### 8.4. LINHAS DO SISTEMA SOBRE TRILHOS

Os totais de embarques, no período pico simulado de três horas (das o5hoo às o7h59), diretos e transferidos, nos sistemas de trilhos, foram separados em dois sistemas: o sistema CBTU, compreendendo a Linha 1, Linha 2 e Linha 3 do metrô e o sistema Trem, compreendendo a Linha A, Linha B, Linha C e Metrô Leve. Os embarques da CBTU, para cada cenário, são apresentados na Tabela 38, e os embarques do Trem são apresentados na Tabela 39. O gráfico da Figura 152 apresenta visualmente os embarques para todas as linhas de trilhos.

Observa-se que há uma ligeira queda nos embarques da Linha 1 nos cenários C2 em relação ao cenário C1. Isso se dá em função da implantação do trecho entre Santa Tereza e Calafate da Linha 2 (Po3) que, ao levar a Linha 2 ao Hipercentro de Belo Horizonte, tem um aumento considerável de embarques em relação ao cenário C1, atraindo parte da demanda da Linha 1. Ao mesmo tempo, este cenário incorpora a Linha 3 do Metrô, no trecho entre Lagoinha e Savassi (Po4-2), que apresenta um total de embarques inferior ao das demais linhas de metrô, resultado que deve ser entendido como uma etapa de implantação da Linha 3, que se inicia pelo centro e vai se estendendo gradativamente para as extremidades.

Por fim, os cenários C<sub>3</sub>A e C<sub>3</sub>B indicam, respectivamente, 120,2 mil e 140,0 mil embarques totais do sistema denominado CBTU no período de pico, que representa um incremento de 163 % e 206 % da demanda nestes cenários em relação ao cenário CoA, respectivamente.

O sistema denominado Trem é incorporado apenas na rede de longo prazo, em 2042. Ainda assim, nota-se que a demanda é baixa, principalmente se levarmos em consideração a extensão dos projetos, que permeiam diversos municípios da RMBH. Dessa maneira, foi necessária uma análise mais minuciosa de tais projetos com o objetivo de propor uma rede 2042 ótima, que apontasse os trechos mais viáveis para implantação, considerando a demanda simulada. Por esse motivo, foram propostos cenários alternativos, apresentados no capítulo 7.

Ao analisar os resultados do cenário alternativo C2t em relação a Linha 1 (Po1) no cenário C1, observa-se que diminuem os embarques transferidos para a Linha 1, bem como, consequentemente, os embarques totais. Isso ocorre devido à competição entre as linhas metroviárias que passam a compartilhar os trilhos no C2t, enquanto no cenário C1 a maior parcela dos embarques transferidos da Linha 1 tinha origem na Linha 2. Apesar disso, observa-se que no cenário C2t o número de embarques da Linha 2 aumenta, uma vez que há o prolongamento da linha e a consequente ampliação da sua área de atendimento, tornando desnecessário o transbordo para a Linha 1.

Ademais, a análise dos resultados do cenário C2t em relação ao C2 demonstra que há um maior carregamento da Linha 3 no trecho entre Lagoinha e Palácio das Artes, devido ao aumento de embarques transferidos.

Os resultados das simulações do cenário alternativo C3t indicam que, em relação ao cenário C3, os totais de embarques nas linhas de metrô 1, 2 e 3 aumentam. Isso ocorre em função da integração da Linha 1 com as demais linhas e com o metrô leve, bem como pela alteração do traçado da Linha 2, passando no eixo da Av. Amazonas e, dessa maneira, atendendo a novos pares de origem e destino. Além disso, ressalta-se que, nesse cenário, não foram consideradas

linhas troncais na Av. Amazonas e foi proposta a racionalização das linhas metropolitanas e municipais de Belo Horizonte nas estações localizadas nas extremidades da Linha 3.

Em relação aos projetos de trens metropolitanos, embora o cenário C3t considere a Linha A no trecho entre Betim e Novo Eldorado, o carregamento demonstrou que o trecho de maior relevância está entre Imbiruçu e Novo Eldorado. Isso se justifica, principalmente, pela proposta de racionalização das linhas que compõem o sistema, a qual foi desenvolvida com o intuito de alimentar o Terminal Imbiruçu. Assim, recomenda-se, no horizonte de 2042, a implantação da Linha A apenas no trecho entre Imbiruçu e Novo Eldorado, medida que possibilita a melhor eficiência da linha, tendo em vista que os trechos eliminados, entre Betim e Imbiruçu e entre Novo Eldorado e Águas Claras (Nova Lima), correspondem a aproximadamente 80% do trajeto original e, ainda assim, o segmento recomendado, com 20% da extensão, carrega quase 70% da demanda prevista para o trajeto completo desta linha. Nas futuras revisões do Plano de Mobilidade Metropolitano, em que transformações urbanísticas elevem o fluxo de pessoas entre as regiões atendidas pelo traçado original, a necessidade da linha ferroviária nos demais trechos da Linha A deve ser reavaliada.

Quanto ao Metrô Leve, a proposta no C3t propôs seu atendimento até o Terminal Morro Alto, porém os resultados demonstraram que o trecho entre Venda Nova e Morro Alto não apresenta carregamento suficiente para justificar essa ligação. Assim, recomenda-se que a extensão do Metrô Leve seja limitada ao atendimento entre a Estação Amazonas da Linha 2 e a região de Venda Nova.

Por fim, apesar das premissas adotadas para a Linha B, mantendo apenas o trecho entre Horto e Sabará no cenário C3t, os resultados demonstraram que essa linha não apresenta carregamento suficiente para justificar sua implantação e, por esse motivo, ela não deve ser considerada para nenhum dos cenários de implantação estudados.

Ressalta-se que a Linha C foi desconsiderada no cenário C3t, uma vez que os resultados do cenário C3 já haviam apontado demanda insuficiente para justificar o investimento.

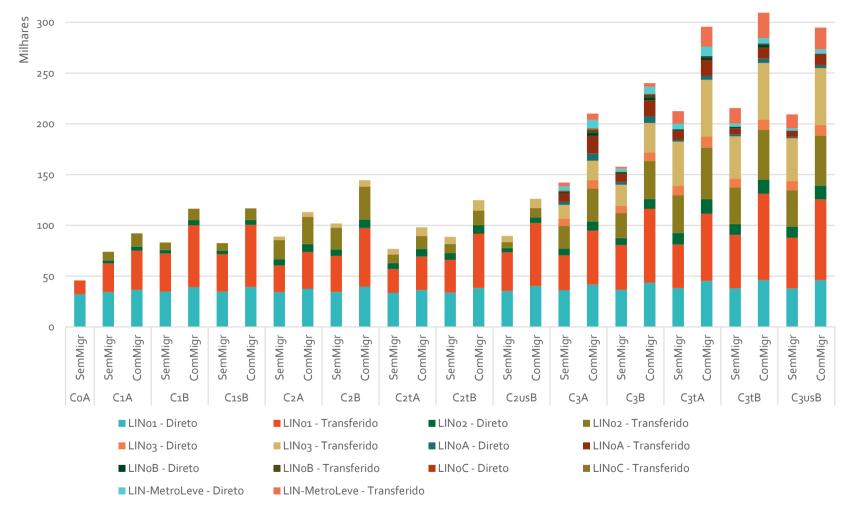
Tabela 38: Embarques no sistema sobre trilhos no período de pico (3h) - CBTU

Cenário	Migração		LINo1			LIN02			LINo3		LI	N-MetroLe	ve
		Direto	Transf.	Total	Direto	Transf.	Total	Direto	Transf.	Total	Direto	Transf.	Total
CoA	SemMigr	32.244	13.480	45.723	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C1A	SemMigr	34.284	28.296	62.580	2.954	8.519	11.474	-	-	-	-	-	-
CIA	ComMigr	36.425	38.653	75.079	4.086	13.021	17.106	-	-	-	-	-	-
C <sub>1</sub> B	SemMigr	34.671	37.534	72.206	3.497	7.464	10.960	-	-	-	-	-	-
CID	ComMigr	39.203	60.997	100.201	4.845	11.284	16.129	-	-	-	-	-	-
C1sB	SemMigr	34.719	36.900	71.619	3.528	7.390	10.917	-	-	-	-	-	-
CISD	ComMigr	39.298	61.175	100.473	4.891	11.308	16.198	-	-	-	-	-	-
C <sub>2</sub> A	SemMigr	34.207	26.256	60.463	6.122	18.869	24.990	319	3.214	3.533	-	-	-
CZ/	ComMigr	37.539	36.096	73.635	7.971	26.485	34.456	377	4.673	5.050	-	-	-
C <sub>2</sub> B	SemMigr	34.480	35.596	70.075	6.336	21.184	27.521	298	4.033	4.331	-	-	-
	ComMigr	39.625	57.763	97.389	8.481	32.317	40.798	341	5.895	6.236	-	-	-
C2tA	SemMigr	33.563	23.354	56.917	6.060	8.269	14.329	335	5.233	5.567	-	-	-
	ComMigr	36.240	32.946	69.185	7.703	12.537	20.239	400	8.259	8.659	-	-	-
C2tB	SemMigr	33.791	32.329	66.120	6.522	9.135	15.657	288	6.630	6.918	-	-	-
	ComMigr	38.275	53.537	91.813	8.527	14.178	22.706	331	9.899	10.230	-	-	-
C2usB	SemMigr	35.390	38.181	73.571	4.047	5.950	9.997	253	5.826	6.079	-	-	-
	ComMigr	40.188	62.112	102.300	5.608	9.177	14.784	298	8.865	9.164	-	-	-
C <sub>3</sub> A	SemMigr	36.210	34.280	70.490	6.781	22.230	29.012	7.210	13.534	20.744	-	-	-
•	Commigr	41.622	53.127	94.749	8.955	32.795	41.750	8.298	18.932	27.230	-	-	-
C <sub>3</sub> B	SemMigr	36.480	44.074	80.554	7.044	24.445	31.489	7.231	20.742	27.973	-	-	-
•	ComMigr	43.480	72.981	116.461	9.534	37.549	47.083	8.426	28.867	37.293	-	-	-
C <sub>3</sub> tA	SemMigr	38.131	42.966	81.097	11.447	37.126	48.573	9.308	43.568	52.876	5.300	12.350	17.651
_	Commigr	45.323	66.267	111.591	14.283	50.769	65.053	10.704	56.044	66.748	9.232	19.610	28.842
C <sub>3</sub> tB	SemMigr	37.953	52.590	90.543	10.892	35.576	46.468	8.896	41.833	50.729	3.162	15.216	18.378
<b>J</b>	ComMigr	46.139	85.166	131.305	13.825	49.020	62.844	10.293	55.516	65.809	5.307	25.202	30.509
CʒusB	SemMigr	37.896	50.017	87.913	10.910	35.743	46.653	8.891	42.336	51.228	2.533	13.467	16.001
	ComMigr	46.021	79.485	125.506	13.838	49.067	62.905	10.295	56.199	66.493	4.248	21.447	25.695

Tabela 39: Embarques no sistema sobre trilhos no período de pico (3h) - Trem

Cenário	Migração		LINoA			LINoB			LINoC		LIN	-MetroLeve	
		Direto	Transf.	Total	Direto	Transf.	Total	Direto	Transf.	Total	Direto	Transf.	Total
C <sub>3</sub> A	SemMigr	3.063	8.384	11.447	1.295	952	2.247	470	147	616	3.931	3.693	7.624
	ComMigr	7.049	17.282	24.332	3.162	2.814	5.976	966	692	1.658	8.219	6.133	14.352
C <sub>3</sub> B	SemMigr	2.848	7.727	10.575	1.233	880	2.113	325	69	394	2.825	1.873	4.698
	ComMigr	6.725	15.446	22.170	3.088	2.688	5.777	682	327	1.009	6.671	3.586	10.257
C <sub>3</sub> tA	SemMigr	1.856	8.646	10.503	1.351	434	1.786	-	-	-	-	-	-
	ComMigr	4.091	15.301	19.392	2.847	1.100	3.948	-	-	-	-	-	-
C <sub>3</sub> tB	SemMigr	1.851	5.904	7.755	1.317	358	1.676	-	-	-	-	-	-
	ComMigr	4.303	10.669	14.972	3.007	1.040	4.047	-	-	-	-	-	-
C <sub>3</sub> usB	SemMigr	1.215	6.229	7.444	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ComMigr	2.929	11.157	14.086	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 152 :Embarques no sistema sobre trilhos no período de pico (3h)



# 9. PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO

Conforme descrito no capítulo 7, esse estudo avaliou treze cenários de horizontes futuros, além do cenário de calibração da situação atual e de atualização de níveis tarifários. A configuração final proposta nesse estudo, referente aos cenários C1sB, C2usB e C3usB (descritos no capítulo 7), é decorrente do processo cíclico de análise incremental, feita a partir do resultado de cada simulação, em que foram sendo incorporados arranjos que possibilitaram a melhoria da eficiência e da produtividade da rede em relação aos cenários simuladores anteriormente.

Os resultados do modelo de demanda utilizado para avaliar os cenários simulados permitiram desenvolver a proposta de implantação dos projetos levantados para a RMBH, adequando a oferta à demanda estimada.

As principais mudanças contidas na proposta em relação aos horizontes estudados, apresentados no capítulo 6, são:

- Modificação do projeto da Linha 2 (Po2 e Po3)
  - → Médio prazo: traçado da Linha 2 permanece inalterado, mantido apenas no trecho entre Barreiro Nova Suíssa, previsto para o horizonte de curto prazo.
  - → Longo prazo: traçado subterrâneo no eixo da Avenida Amazonas no trecho entre a Estação Amazonas e a Praça Sete de Setembro. Desde a Praça Sete, o traçado segue subterrâneo até a Estação Santa Tereza, passando pela Av. Afonso Pena, Av. Carandaí e Avenida Churchil, conforme previsto originalmente.
- Seccionamento do projeto da Linha A (P<sub>31</sub>), mantendo apenas o trecho entre Imbiruçu e Novo Eldorado
- Seccionamento do projeto do Metro Leve (P37), mantendo apenas o trecho entre a Estação Nova Suíssa e o Terminal Venda Nova
- Descarte dos projetos das Linhas B e C (P<sub>32</sub> e P<sub>33</sub>), bem como de suas extensões (P<sub>32-1</sub> e P<sub>57</sub>)

A Tabela 40 apresenta a relação dos projetos constantes na proposta de implantação:

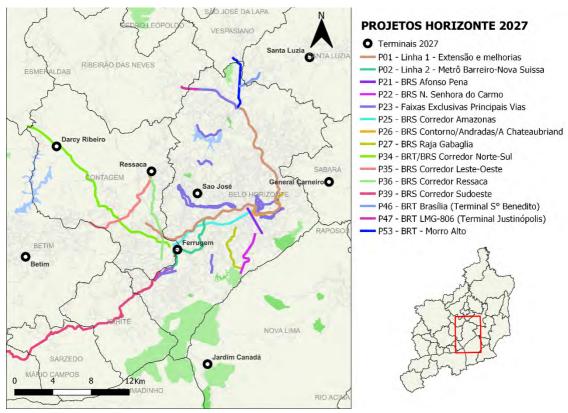
Tabela 40: Projetos contemplados na rede de transporte proposta

Código	Nome do projeto	Extensão (km)	Horizonte
Po1	Linha 1 - Extensão e melhorias	30	Curto prazo (2027)
Po2	Linha 2 - Metrô (Barreiro-Nova Suíssa)	10	Curto prazo (2027)
Po <sub>3</sub>	Linha 2 - Metrô (Nova Suíssa-Santa Tereza via Amazonas)	7	Longo prazo (2042)
Po4-1	Linha 3 - Metrô (Pampulha-Lagoinha)	8	Longo prazo (2042)
P04-2	Linha 3 - Metrô (Lagoinha-Savassi)	4	Médio prazo (2032)
Po <sub>5</sub>	Linha 3 - Metrô (Lagoinha-Morro do Papagaio)	7	Longo prazo (2042)
Po8	BRS Céu Azul - Ribeirão das Neves	10	Longo prazo (2042)
P10	BRT BR-040	19	Médio prazo (2032)
P11-1	Terminal Betim	-	Curto prazo (2027)
P11-2	Terminal Ferrugem	-	Curto prazo (2027)
P12-1	Terminal General Carneiro	-	Curto prazo (2027)
P12-3	Terminal Nova Lima (Bom Retiro)	-	Longo prazo (2042)
P13	CIT Contagem	-	Longo prazo (2042)
P20	Estação São José	-	Curto prazo (2027)
P21	BRS Afonso Pena	3	Curto prazo (2027)
P22	BRS N. Senhora do Carmo	5	Curto prazo (2027)
P23	Implantação faixas exclusivas/preferenciais nas principais vias de ônibus	45	Curto prazo (2027)
P24	BRT Cristiano Machado (complemento)	14	Médio prazo (2032)
P25	BRS Corredor Amazonas	9	Curto prazo (2027)
P26	BRS Contorno/Andradas/Assis Chateaubriand	6	Curto prazo (2027)
P27	BRS Raja Gabaglia	6	Curto prazo (2027)
P28	BRT Anel Rodoviário	22	Médio prazo (2032)
P29	BRS Barão de Homem de Melo	5	Médio prazo (2032)
P30	BRS Rota Noroeste	20	Médio prazo (2032)
P31	Linha A (trilhos): Imbiruçu - Novo Eldorado	10	Longo prazo (2042)
P34	BRT/BRS Corredor Norte-Sul	21	Curto prazo (2027)
P35	BRS Corredor Leste-Oeste	10	Curto prazo (2027)
P36	BRS Corredor Ressaca	9	Curto prazo (2027)
P37	Metrô Leve-BH (Amazonas - Venda Nova)	20	Longo prazo (2042)
P39	BRS Corredor Sudoeste	44	Curto prazo (2027)
P41	BRT Via Estruturante Sul	15	Longo prazo (2042)
P43	Terminal Darcy Ribeiro	-	Curto prazo (2027)
P44	Terminal Ressaca	-	Curto prazo (2027)
P45	Terminal Jardim Colonial	-	Médio prazo (2032)
P46	BRT Av. Brasília (Terminal São Benedito)	3	Curto prazo (2027)
P47	BRT LMG-8o6 (Terminal Justinópolis)	2	Curto prazo (2027)
P48	Terminal Santa Luzia	-	Curto prazo (2027)
P49	Terminal Imbiruçu	-	Médio prazo (2032)

Código	Nome do projeto	Extensão (km)	Horizonte
P50	Terminal Pedro Leopoldo	-	Médio prazo (2032)
P51	Estação Jardim Canadá	-	Curto prazo (2027)
P52	BRS Diametral	43	Longo prazo (2042)
P53	BRT Morro alto	6	Curto prazo (2027)
P54	BRT Extensão 220	6	Longo prazo (2042)
P55	BRT Vera Cruz	8	Longo prazo (2042)
P56	BRT Corredor Sul	11	Longo prazo (2042)
P58	BRS Anel Intermediário	30	Longo prazo (2042)

Os mapas a seguir (Figura 153, Figura 154 e Figura 155) ilustram a proposta de implantação, considerando os três horizontes estudados (curto, médio e longo prazo).

Figura 153: Projetos contemplados na rede de transporte proposta para o curto prazo (2027)



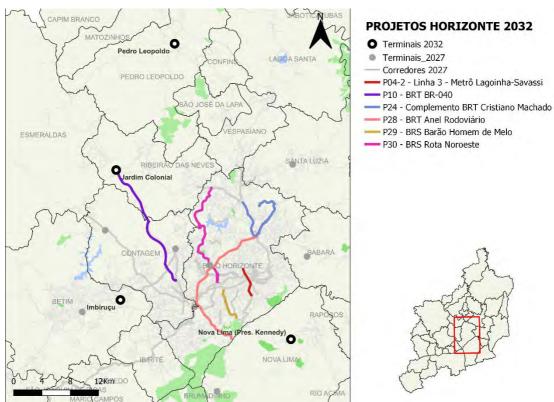


Figura 154: Projetos contemplados na rede de transporte proposta para o médio prazo (2032)

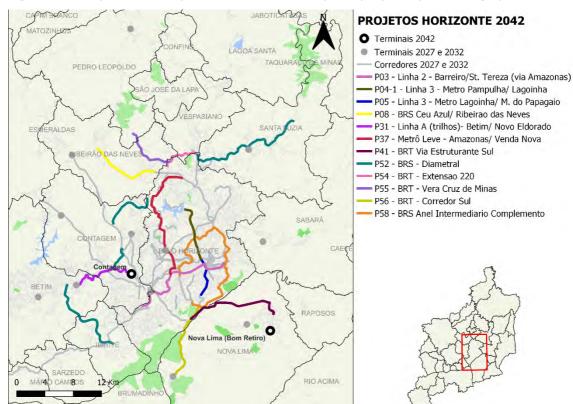


Figura 155: Projetos contemplados na rede de transporte proposta para o longo prazo (2042)

# 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo partiu do levantamento de planos e projetos previamente desenvolvidos pelas administrações públicas municipais e estadual, que atuam no âmbito da RMBH. Durante a sua elaboração, novas ligações foram propostas e alguns projetos foram modificados, considerando o estudo de demanda e a modelagem de transportes apresentados nesse relatório. Contudo, é essencial que diferentes possibilidades sejam avaliadas a cada 10 anos, quando forem elaboradas as revisões do Plano de Mobilidade da RMBH, conforme previsto pela Lei Federal 12.587/2012.

Nesse sentido, ressalta-se que, sob a perspectiva da demanda e tendo em vista os mapas de carregamento apresentados no capítulo Erro! Fonte de referência não encontrada., é possível q ue o Linha A apresente potencial de demanda mais elevado caso seja considerada alternativamente a diretriz da BR-381. O traçado proposto pelo Plano Estratégico Ferroviário de Minas Gerais (PEF) utiliza leitos ferroviários existentes, o que inegavelmente resulta em menor complexidade e menores custos. Contudo, no caso da Linha A, a ligação entre Betim e Contagem pelo eixo da BR-381, para o qual não está prevista qualquer infraestrutura de transporte de passageiros alta capacidade, apresenta uma demanda superior à demanda da Linha A no horizonte 2042. Assim, recomenda-se que, nas futuras revisões do Plano de Mobilidade da RMBH, sejam consideradas outras opções de traçado para a Linha A, com o objetivo de identificar a melhor alternativa sob as perspectivas econômico-financeiras, ambientais e regulatórias.

Além disso, as simulações demonstraram que o corredor formado pelas avenidas Antônio Carlos e Pedro I é o mais carregado da RMBH e que essa demanda evolui significativamente ao longo dos horizontes estudados, justificando a implantação da Linha 3 do metrô, ainda que sobreposta à infraestrutura de BRT existente, na Av. Antônio Carlos. Nesse sentido, sugere-se que, nas próximas revisões do PlanMob RMBH, seja estudado o prolongamento da Linha 3 até o Terminal Vilarinho, pela diretriz da Avenida Pedro I.

Embora as linhas B e C, previstas pelo PEF-Minas, tenham sido, após as simulações do longo prazo, desconsideradas no âmbito desse estudo, é recomendável que tais projetos sejam sempre revisitados, tendo em vista que o território urbano está em constante transformação, podendo sofrer diversificação de ocupação que altere a dinâmica de circulação. Da mesma maneira, os projetos não priorizados no âmbito do transporte coletivo, listados no capítulo 5.2, devem ser novamente avaliados nas revisões futuras do Plano de Mobilidade com o objetivo de avaliar a sua pertinência.

# 11. ANEXOS

#### 11.1. DADOS DE ENTRADA DA REDE DE SIMULAÇÃO

Dados	Descrição						
Zoneamento	Setores censitários do censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1002 zonas).						
Base viária	Acervo do Estudo de Demanda de Belo Horizonte/MG (GPO-SYSTRA- CESCON-RHEIN, 2021)						
	Atualizada no âmbito deste projeto com base em fontes externas ( <i>Google Maps</i> , <i>Open Street Map</i> )						
Linhas e	Linhα 1 e 2 do Metrô de Belo Horizonte						
estações / Pontos de	Dados abertos da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH) e arquivos recebidos da CBTU						
Embarque e	Sistema municipal de ônibus de Belo Horizonte						
Desembarque (PEDs)	Especificação Geral de Feeds de Transporte Público (GTFS, sigla em inglês) disponível nos dados abertos da PBH						
	Sistema metropolitano de ônibus (RMBH)						
	Acervo do Consórcio, atualizado com base em cadastro recente dos PEDs (não sequencial) e Quadro de Características Operacionais de todas as linhas (06/03/2019)						
	Sistema municipal de ônibus de Contagem						
	Cadastro dos itinerários e de PEDs fornecido pela TRANSCON, Autarquia de Trânsito e Transporte de Contagem						
	Sistema municipal de ônibus de Betim						
	Cadastro dos itinerários e PEDs fornecido pela Prefeitura Municipal de Betim						
	Sistema municipal de ônibus de Ibirité						
	Cadastro dos itinerários e PEDs por meio de pontos de GPS fornecidos pela Prefeitura Municipal de Ibirité						
	Sistema municipal de ônibus de Santa Luzia						
	Cadastro dos itinerários e PEDs por meio de pontos de GPS fornecidos pela Prefeitura Municipal de Santa Luzia						
	A localização geográfica das estações de metrô, dos terminais de integração e das estações intermediárias do BRT (municipal e metropolitano) foi conferida manualmente						
Projetos de infraestrutura de transporte	Projetos de transporte na rede viária e na rede de transporte público Ver capítulo 6						

Dados	Descrição
à curto e	
longo prazo	
Horários	Linha 1 do Metrô de Belo Horizonte Site da CBTU
	Linha 2 do Metrô de Belo Horizonte
	Relatório Metrominas - Estudos e Projetos Básicos de Engenharia e Ambientais para o Trem Metropolitano de Belo Horizonte
	Sistema municipal de ônibus de Belo Horizonte
	Especificação Geral de Feeds de Transporte Público disponível nos dados abertos da PBH
	Sistema metropolitano de ônibus (RMBH)
	Quadro de Características Operacionais de todas as linhas
	Sistema municipal de ônibus de Contagem
	Levantamento no site da TRANSCON
	Sistema municipal de ônibus de Betim
	Sistema municipal de ônibus de Ibirité
	Levantamento no site da Prefeitura de Ibirité
	Sistema municipal de ônibus de Santa Luzia
Tarifas	Metrô e integrações tarifárias metrô-ônibus
	Site e arquivos recebidos da CBTU
	Sistema municipal de ônibus de Belo Horizonte
	Site da BHTRANS, Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte e validação com dados de bilhetagem
	Sistema municipal de ônibus de Contagem
	Acervo do consórcio atualizado pelo Site da TRANSCON
	Sistema metropolitano de ônibus (RMBH)
	Site da SEINFRA, Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade de MG e validação com dados de bilhetagem
	Sistema municipal de ônibus de Betim
	Site da Prefeitura Municipal de Betim e validação com dados de bilhetagem
	Sistema municipal de ônibus de Ibirité
	Site da Prefeitura Municipal de Ibirité e validação com dados de bilhetagem
	Sistema municipal de ônibus de Santa Luzia
	Site da Prefeitura Municipal de Santa Luzia e validação com dados de bilhetagem
Demanda do	Sistema metropolitano de ônibus (RMBH)
Transporte	Construção de matriz com dados de bilhetagem Novembro de 2019
Coletivo	Sistema municipal de ônibus de Belo Horizonte

Dados	Descrição
(Matriz	Construção de matriz com dados de bilhetagem Novembro de 2019
Origem-	Metrô
Destino - SBE, 2019)	Registros da CBTU de embarque (catracas)
2029,	Sistema municipal de ônibus de Contagem
	Construção de matriz com dados de bilhetagem Novembro de 2019
	Sistema municipal de ônibus de Betim
	Construção de matriz com dados de bilhetagem Novembro de 2019
	Sistema municipal de ônibus de Ibirité
	Construção de matriz com dados de bilhetagem Novembro de 2019
	Sistema municipal de ônibus de Santa Luzia
	Construção de matriz com dados de bilhetagem Novembro de 2019