CONCORRÊNCIA CO SMCG N.º 05/2023

ANEXO IX – ESTUDO DE DEMANDA

CONCESSÃO PARA IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE SISTEMA DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO DE PASSAGEIROS NO COMPLEXO LAGUNAR DA BARRA DA TIJUCA, JACAREPAGUÁ E RECREIO DOS BANDEIRANTES.

Sumário

Introdução 1
Parte I – Diagnóstico 2
D.I.1) Diagnóstico 3
D.I.1.1) Caracterização do Sistema Viário 3
D.I.1.2) Caracterização do sistema de transportes 4
D.I.1.3) Caracterização Socioeconômica 5
D.I.1.4) Aspectos Geográficos 8
D.I.1.4.1) Bancos de Areia 8
D.I.1.4.2) Ecobarreira 8
D.I.1.5) Serviços Aquaviários Existentes 9
D.I.1.5.1) Serviço de ligação para a estação Jardim Oceânico do Metrô – Trajeto horizontal 9
D.I.1.5.2) Contrato comercial de travessia – Trajeto vertical 10
D.I.1.5.3) Serviços de Condomínios da Lagoa de Marapendi 10
D.I.1.5.4) Serviços na Lagoa da Tijuca - Península x Barra Shopping 11
D.I.1.5.5) Serviços na Lagoa da Tijuca – Continente (metrô) x Ilha da Gigóia 12
D.I.1.5.6) Passeio turístico 13
D.I.1.5.7) Serviços de Táxis Aquáticos 13
Parte II – Construção do Modelo de Simulação 14
D.II.1) Construção do Modelo de Simulação 15
D.II.1.1) Zoneamento 15
D.II.1.2)Revisão da rede viária atual 16
D.II.1.3) Parametrização da rede de transporte público 22
D.II.1.4) Parametrização de atrasos e reduções de velocidade 32
D.II.1.5) Impedância adicional em trechos de comunidades 38
D.II.1.6) Modelo de escolha e parâmetros obtidos desde pesquisas de Preferência Declarada 39
D.II.1.6.1) Identificação do Mercado Objetivo 39
D.II.1.6.2) Desenho do Experimento 40
D.II.1.6.3) Modelos de escolha e estimativa de parâmetros 42
D.II.1.7) Construção das matrizes de viagens e calibração do cenário atual 49
D.II.1.7.1) Construção das matrizes de viagens de Transporte Privado 49
D.II.1.7.2) Construção das matrizes de viagens de Transporte Público 55
D.II.1.7.2.a) Filtros e testes de coerência dos dados brutos 56
D.II.1.7.2.b) Georreferenciamento 56
D.II.1.7.2.b.1) Malha de resolução espacial da tecnologia da Kido Dynamics 56
D.II.1.7.2.c) Reconstrução da sequência temporal de eventos 57
D.II.1.7.2.d) Classificação de eventos pela mobilidade 59
D.II.1.7.3) Geração das matrizes origem destino a partir de metadados de telefonia celular 59

D.II.1.8) Metodologia para projeção de demanda 65
D.II.1.9) Resultados 67
D.II.1.9.1) Cenário Atual 68
D.II.1.9.1.1) Transporte Privado 68
D.II.1.9.1.2) Transporte Público 70
D.II.1.9.2) Cenário de Triagem 74
D.II.1.9.3) Cenário Sistema Aquaviário Lagunar Barra da Tijuca 76
D.II.1.9.4) Cenário Aquaviário Sem Integração Tarifária 85
D.II.1.9.5) Cenário Melhorias Av. Eng. Souza Filho 86
D.II.1.10) Resultados das Projeções 88
D.II.1.11) Dimensionamento dos píeres 96

Índice de Ilustrações

Figura 1 – Sistema Viário da área de influência do projeto 3
Figura 2 – Número de linhas de ônibus por trecho 5
Figura 3 – Distribuição da população na área de influência do projeto 7
Figura 4 – Distribuição da população por renda (% moradores com renda acima de 3 salários mínimos) 7
Figura 5 – Bancos de Areia 8
Figura 6 – Localização e imagens das Ecobarreiras na Lagoa da Tijuca 9
Figura 7 – Tarifas e Trajetos dos serviços de ligação com a estação Jardim Oceânico do Metrô 10
Figura 8 Travessias da Lagoa de Marapendi, Píer M31 Condomínio Nova Ipanema e Píer M38 Praia da Reserva 11
Figura 9 – Travessias da Lagoa da Tijuca, tipo de embarcação e Píer na Península 12
Figura 10 Travesssia Ilha da Gigóia e Pier de atracação da travessia na Ilha da Gigoia 13
Figura 11 – Zoneamento base para a RMRJ e zoneamento utilizado neste estudo. 15
Figura 12 – Representação da rede de simulação hierarquizada da RMRJ (parâmetros das tipologias descritos na Tabela 5, pág 39) 18
Figura 13 – Representação da rede de simulação hierarquizada na área de influência do projeto 19
Figura 14 – Número de faixas por trecho de via na rede de simulação da RMRJ. 20
Figura 15 - Número de faixas por trecho de via na área de influência 21
Figura 16 – Relação entre a velocidade modelada de transporte privado e a velocidade dos ônibus em vias de tráfego compartilhado 23
Figura 17 – Velocidades fixas atribuídas no modelo para a rede de transporte massivo segregado 26
Figura 18 – Tabelas de referência para parametrização do sistema tarifário fonte: https://www.cartaoriocard.com.br/rcc/institucional/tarifas 27
Figura 19 – Malha de transporte público, quantidade de linhas por trecho de via. 28
Figura 20 – Volumes de veículos de transporte público 29
Figura 21 – Pontos de paradas de ônibus urbano inseridos no modelo 30
Figura 22 – Pré-carregamento final do modelo de tráfego 31
Figura 23 – Função BPR de volume-atraso aplicada nos links/trechos 32
Figura 24 - Velocidade X fluxo por faixa, por tipo de via 34
Figura 25 – Localização dos cruzamentos semaforizados da cidade do Rio de Janeiro 35
Figura 26 – Função TMODEL_NODES, de atraso em função do volume 35
Figura 27 – Atraso x Volume/Capacidade em movimentos e cruzamentos 38
Figura 28 – Penalização adicional da rede - Comunidades do Rio de Janeiro 39
Figura 29 - Aplicação do Ngene para gerar experimentos de escolha 41
Figura 30 – Cartão para aplicação da pesquisa de preferência declarada 41
Figura 31 – Localização dos pontos de contagem utilizados para calibração das matrizes de viagens 50
Figura 32 – Perfil de deslocamento (km) das matrizes PDTU e calibradas 50

Figura 33 – Volumes alocados X volumes medidos, automóveis (fiscalizadores eletrônicos, pontos de pesquisa do estudo e outras fontes).....51
Figura 34 – Trechos selecionados para coleta de tempos de viagem típicos do Google Maps.....52
Figura 35 – Isócronas para o cenário atual, pico da manhã. Pechincha (1), Salvador Allende X Av. das Américas (2), Túnel do Joá (3), Caju (4) 53
Figura 36 - Geração de viagens e viagens/km2 da matriz final calibrada do modelo para a hora pico da manhã.....54
Figura 37 – Ponderadores de impedância para cálculo de Perceived Journey Time (PJT, custo generalizado) na alocação de transporte Público 55
Figura 38 – Detalhamento de zonas disponibilizado pelo sistema de dados de mobilidade de celular.....58
Figura 39 – Matrizes OD obtidas para o modelo de transportes multimodal deste estudo.....60
Figura 40 – Pontos utilizados para a calibração dos volumes de passageiros no transporte público.....61
Figura 41 – Volumes mensais de passageiros ao longo dos anos, de 2015 a 2022 62
Figura 42 – Histograma de distâncias de viagem (km) para as matrizes sementes e calibradas 62
Figura 43 – Volumes alocados X volumes medidos, transporte público 63
Figura 44 – Geração de viagens e viagens/km2 na hora pico da manhã, transporte publico.....64
Figura 45 – Evolução linear média de residentes trabalhadores e estudantes. Evolução apresentada pelo PDTU 2012, para o período de 2012 a 2022 67
Figura 46 - Evolução linear média de postos de estudo e de trabalho Evolução apresentada pelo PDTU 2012, para o período de 2012 a 2022 67
Figura 47 – Volumes de tráfego geral e velocidades modelados, vista completa da cidade.....69
Figura 48 – Volumes de tráfego geral e velocidades modelados, área de influência 70
Figura 49 - Volumes de passageiros e de embarques e desembarques por parada, vista completa, hora pico da manhã 72
Figura 50 – Volumes de passageiros e de embarques e desembarques por parada, detalhe área de influência do projeto, hora pico da manhã 73
Figura 51 – Todas as Conexões possíveis no modelo do Complexo Lagunar.....74
Figura 52 – Fluxos (Flow Bundle) da demanda de passageiros capturada pelo Complexo Lagunar no cenário de Triagem.....75
Figura 53 -Demanda potencial máxima do complexo Lagunar e suas linhas de desejo.....75
Figura 54 – Linhas de desejo internas do sistema, para otimização de linhas a serem propostas.....76
Figura 55 – Linhas propostas para o sistema aquaviário lagunar Barra da Tijuca 79
Figura 56 - Renovação nos carregamentos de passageiros comparativo entre cenário atual e cenário aquaviário: (A) Aerobarcos e (B) Barcos convencionais...80
Figura 57 – Passageiros desviados pelas melhorias (trecho em azul) na avenida Engenheiro Souza Filho.....87

Figura 58 – Projeção de arrecadação anual (R$Mil), cenário base, com integração tarifária 90
Figura 59 – Projeção de arrecadação anual (R$Mil), cenário sem integração tarifária 92
Figura 60 – Projeção de arrecadação anual (R$Mil), cenário sem integração tarifária e com melhorias na Av. Eng. Souza Filho 94
Figura 61 - Projeção de arrecadação anual (R$Mil) estendida até 2057, cenário base, com integração tarifária 96
Figura 62 – Localização dos píeres no estudo de demanda 98

Índice de Tabelas

Tabela 1 – População do Município do Rio de Janeiro por Região Administrativa .6
Tabela 2 – Tempos de viagem modelados para as linhas dos sistemas de transporte massivo 24
Tabela 3 – Tempos de viagem modelados para as linhas de BRT 25
Tabela 4 – Tarifas Integrais e matriz de descontos das integrações 27
Tabela 5 – Parâmetros das funcões BPR por tipo de via.....33
Tabela 6 – Descontos de capacidade em cruzamentos semaforizados.....36
Tabela 7 – Faixas disponíveis para os movimentos em cruzamentos.....37
Tabela 8 – Parâmetros das funções TMODEL-NODES usadas.....37
Tabela 9 - Modelos para usuários sem acesso a automóvel.....45
Tabela 10 – Valores do tempo VOT para os modos de Transporte Público.....47
Tabela 11 - Modelos para usuários com acesso ao automóvel. 47
Tabela 12 – Valores do Tempo VOT para usuários com acesso a automóvel.....49
Tabela 13 – Tempos de Viagem típicos por trecho, Fonte: GoogleMaps 52
Tabela 14 – Volume total de Viagens na áre a de estudo obtido desde a base de dados de celular 65
Tabela 15 - Demanda de dia útil - Cenário Aquaviário Lagunar (A).....83
Tabela 16 - Demanda de dia útil - Cenário Aquaviário Lagunar (B).....84
Tabela 17 - Desenho Proposto: Aerobarcos + Barcos Convencionais 84
Tabela 18 – Perfil de alocação de frota proposto para a operação do complexo Lagunar.....85
Tabela 19 - Demanda de dia útil - Complexo Lagunar operando com barcos convencionais a 15km/h e sem as integrações tarifárias dos ônibus convencionais, ano base 86
Tabela 20 - Demanda de dia útil - Complexo Lagunar operando com barcos convencionais a 15km/h, sem as integrações tarifárias dos ônibus convencionais e com melhorias na Av. Eng. Souza Filho, ano base.....87
Tabela 21 – Resultados das projeções, demanda diária do sistema e frota mínima necessária por linha e por tipo de barco 89
Tabela 22 – Resultados das projeções, demanda diária do sistema e frota mínima necessária por linha e por tipo de barco, cenário sem integração tarifária 91
Tabela 23 – Resultados das projeções, demanda diária do sistema e frota mínima necessária por linha e por tipo de barco, cenário sem integração tarifária e com melhorias na Av. Eng. Souza Filho 93
Tabela 24 – Dimensionamento de píeres do Complexo Lagunar.....99

Introdução

Este estudo é composto pela **Parte I – Diagnóstico** e **Parte II – Construção do Modelo de Simulação**.

Na **Parte I – Diagnóstico** serão apresentadas as principais características do sistema viário e de transportes da área de influência do estudo e a caracterização dos serviços de transporte aquaviário existentes.

A seguir, na **Parte II – Construção do Modelo de Simulação**, será descrita a metodologia para a estimativa da demanda do sistema proposto, que inclui o detalhamento do sistema viário e de transportes no modelo de simulação macroscópico de transportes Visum, a obtenção e tratamento da base de metadados de celular para a área de influência, o processo de modelagem e apresentação dos resultados e projeções.

Parte I – Diagnóstico

D.I.1) Diagnóstico

D.I.1.1) Caracterização do Sistema Viário

Devido à geografia da região, uma área de restinga delimitada pelo mar e por várias lagoas, o sistema viário da Barra da Tijuca e Jacarepaguá é bastante restrito. Consiste basicamente em dois eixos estruturais/arteriais principais: a Avenida das Américas e a Av. Airton Sena, que absorvem grande parte das viagens, tanto as viagens locais, como de intercâmbio e de passagem. O sistema viário secundário é extremamente deficitário, formado pelas Av. Lúcio Costa, na orla do mar, e pelas avenidas Salvador Allende e Abelardo Bueno. As demais ruas e avenidas têm caráter precipuamente local, sem capacidade ou conexão suficiente para atender os fluxos veiculares mais expressivos. Pelo desenho do sistema viário, observa-se que tais eixos, tanto do sistema viário principal quanto do sistema viário secundário, funcionam de forma bastante isolada, ou seja, não operam em conjunto ou em paralelo e não atendem os mesmos pares de viagem. Assim sendo, cada um deles acaba por responder às demandas de viagens com seus próprios recursos. Não existe uma malha viária bem formada e não existem caminhos alternativos. Isto afeta diretamente o comportamento do tráfego.

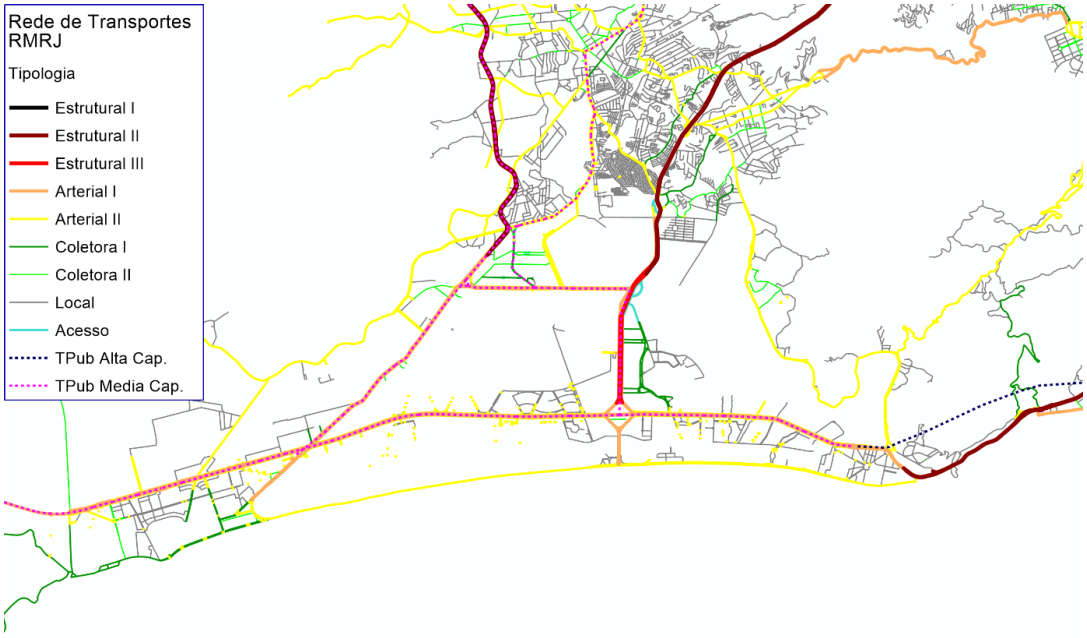


Figura 1 – Sistema Viário da área de influência do projeto

O sistema viário na área de influência do projeto apresenta-se bastante saturado, pois os veículos se concentram nas poucas vias principais, obrigando

os motoristas a fazerem o mesmo trajeto. Essa configuração do sistema viário também condiciona o uso do solo a estes mesmos eixos, o que resulta numa concentração de viagens ainda maior. E assim, estas vias estruturais que deveriam atender grande fluxos de tráfego a grandes distâncias, atendem também fluxos locais, fazendo ao mesmo tempo as funções de vias estruturais, arteriais e coletoras. Isto pode ser observado através das pistas centrais e laterais das avenidas das Américas e Airton Sena e a grande quantidade de semáforos e retornos.

A Barra da Tijuca, o Recreio dos Bandeirantes e uma parte de Jacarepaguá possuem um tipo de morador cativo do uso do automóvel particular. Isso acontece devido ao perfil de renda mais elevado e jovem dos moradores, a cultura automobilística nacional e principalmente pela escala do desenho urbano desses bairros, baseado em grandes condomínios, grandes centros comerciais e de negócios e grandes distâncias. Praticamente não existe vida de vizinhança e viagens a pé fora dos muros dos condomínios. Caminhar por estes grandes eixos viários pode ser uma experiência muito desagradável.

D.I.1.2) Caracterização do sistema de transportes

A área de influência do projeto é atendida predominantemente pelo modo rodoviário e possui uma estação da linha 4 do Metrô. O transporte rodoviário de passageiros é feito principalmente por ônibus, que se apresenta em dois tipos de operação: as linhas convencionais e as linhas de BRT (Bus Rapid Transit). O metrô chega somente na estação Jardim Oceânico, que se localiza no início do bairro da Barra da Tijuca e conecta com os demais bairros da cidade.

O principal eixo de transporte é a Avenida das Américas, por onde passam mais de 30 linhas de ônibus, incluindo o BRT (Bus Rapid Transit). A rede de BRT (Transoeste, Transcarioca e Transolímpica) é bastante abrangente e atende os bairros da Barra da Tijuca, Recreio dos Bandeiras e de Jacarepaguá.

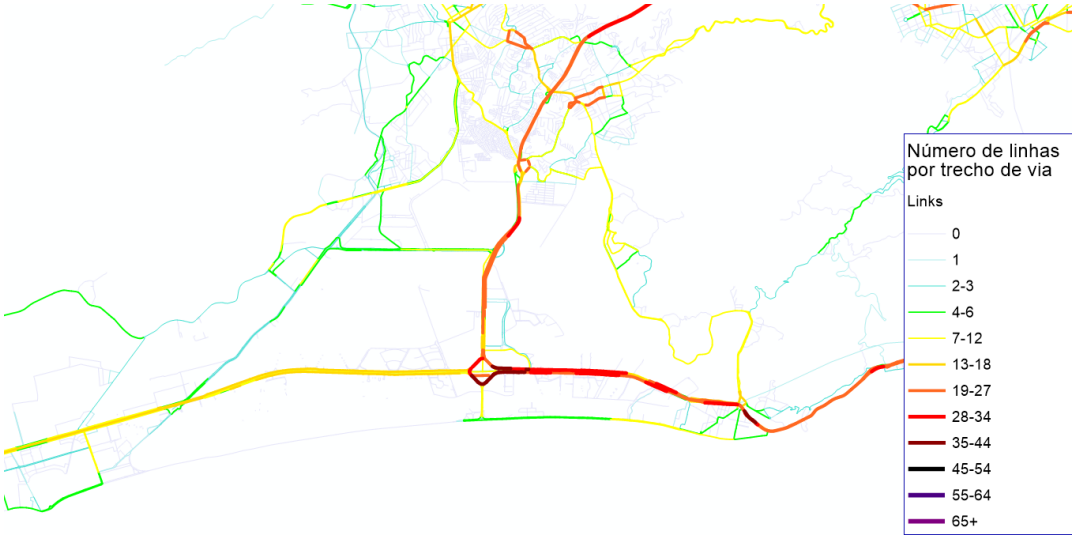


Figura 2 – Número de linhas de ônibus por trecho

D.I.1.3) Caracterização Socioeconômica

A estimativa da população residente na área de influência do projeto para o ano de 2020 soma cerca de 1.042.500 habitantes e compreende cerca de 16% da população do Município do Rio de Janeiro, estimada em 6.661.000 habitantes em 2020. Jacarepaguá é o bairro mais populoso de todo o Município do Rio de Janeiro, com 648.484 habitantes (Tabela 1). Na Figura 3 pode-se observar a distribuição da população entre as zonas de transporte, com maior concentração de pessoas em Jacarepaguá, Rio das Pedras, Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes.

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial de renda dos moradores na área de influência do projeto, identificando o percentual de moradores com renda superior a 3 salários-mínimos por zonas de transporte como critério de corte. Os bairros da Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes apresentam maior percentual de moradores com renda mais alta, enquanto os bairros de Rio das Pedras, Anil e Cidade de Deus apresentam maior percentual de moradores com renda mais baixa.

Tabela 1 – População do Município do Rio de Janeiro por Região Administrativa

Regiões Administrativas	População Residente		População Estimada				
	2000	2010	2013	2014	2015	2016	2020
Anchieta	154 608	158 318	159 491	159 740	159 978	160 208	161 052
Bangu	420 503	428 035	430 417	430 922	431 406	431 871	433 586
Barra da Tijuca	174 353	300 823	340 822	349 296	357 420	365 241	394 037
Botafogo	238 895	239 729	239 993	240 049	240 102	240 154	240 344
Campo Grande	484 362	542 084	560 340	564 208	567 916	571 485	584 628
Centro	39 135	41 142	41 777	41 911	42 040	42 164	42 621
Cidade de Deus	38 016	36 515	36 040	35 940	35 843	35 750	35 409
Complexo do Alemão	65 026	69 143	70 445	70 721	70 985	71 240	72 177
Copacabana	161 178	161 191	161 195	161 196	161 197	161 198	161 201
Guaratiba	101 205	123 114	130 043	131 511	132 919	134 273	139 262
Ilha de Paquetá	3 421	3 361	3 342	3 338	3 334	3 330	3 317
Ilha do Governador	211 469	212 574	212 923	212 998	213 069	213 137	213 388
Inhaúma	130 635	134 349	135 524	135 772	136 011	136 241	137 086
Irajá	202 967	202 952	202 947	202 946	202 945	202 944	202 941
Jacarepaguá	469 682	572 617	605 173	612 070	618 682	625 047	648 484
Jacarezinho	36 459	37 839	38 275	38 368	38 457	38 542	38 856
Lagoa	174 062	167 774	165 785	165 364	164 960	164 571	163 139
Madureira	374 157	371 968	371 276	371 129	370 988	370 853	370 355
Maré	113 807	129 770	134 819	135 888	136 914	137 901	141 535
Méier	398 486	397 782	397 559	397 512	397 467	397 423	397 263
Pavuna	197 068	208 813	212 528	213 315	214 069	214 795	217 470
Penha	183 194	185 716	186 514	186 683	186 845	187 001	187 575
Portuária	39 973	48 664	51 413	51 995	52 553	53 091	55 070
Ramos	150 403	153 177	154 054	154 240	154 418	154 590	155 222
Realengo	239 146	243 006	244 227	244 485	244 733	244 972	245 851
Rio Comprido	73 661	78 975	80 656	81 012	81 353	81 682	82 892
Rocinha	56 338	69 356	73 473	74 346	75 182	75 987	78 951
Santa Cruz	311 289	368 534	386 639	390 475	394 152	397 692	410 726
Santa Teresa	41 145	40 926	40 857	40 842	40 828	40 814	40 765
São Cristóvão	70 945	84 908	89 324	90 260	91 157	92 020	95 199
Tijuca	180 992	181 810	182 069	182 124	182 176	182 227	182 413
Vigário Geral	135 311	136 171	136 443	136 501	136 556	136 609	136 805
Vila Isabel	186 013	189 310	190 353	190 574	190 785	190 989	191 740

Fonte: IBGE, Censo Demográfico de 2000 e 2010.
Estudo 3255: Coleção Estudos Cariocas - Projeção Populacional 2013-2020 para a Cidade do Rio de Janeiro: uma aplicação do do método AiBi (http://www.data.rio).
Elaboração: Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos da Prefeitura do Rio de Janeiro – IPP.

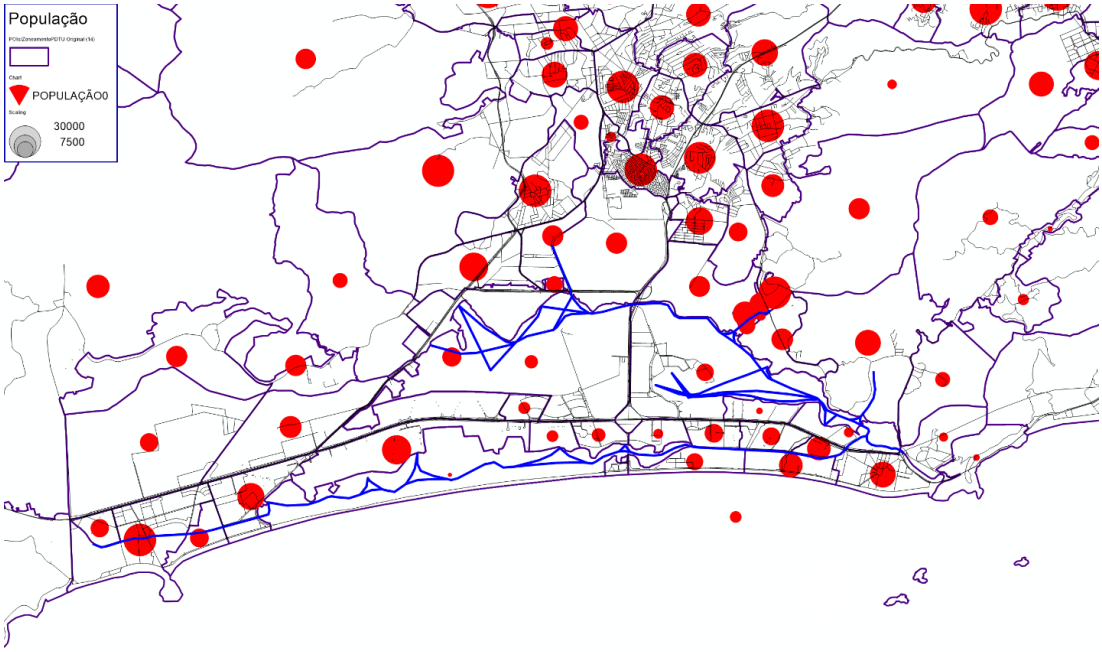


Figura 3 – Distribuição da população na área de influência do projeto

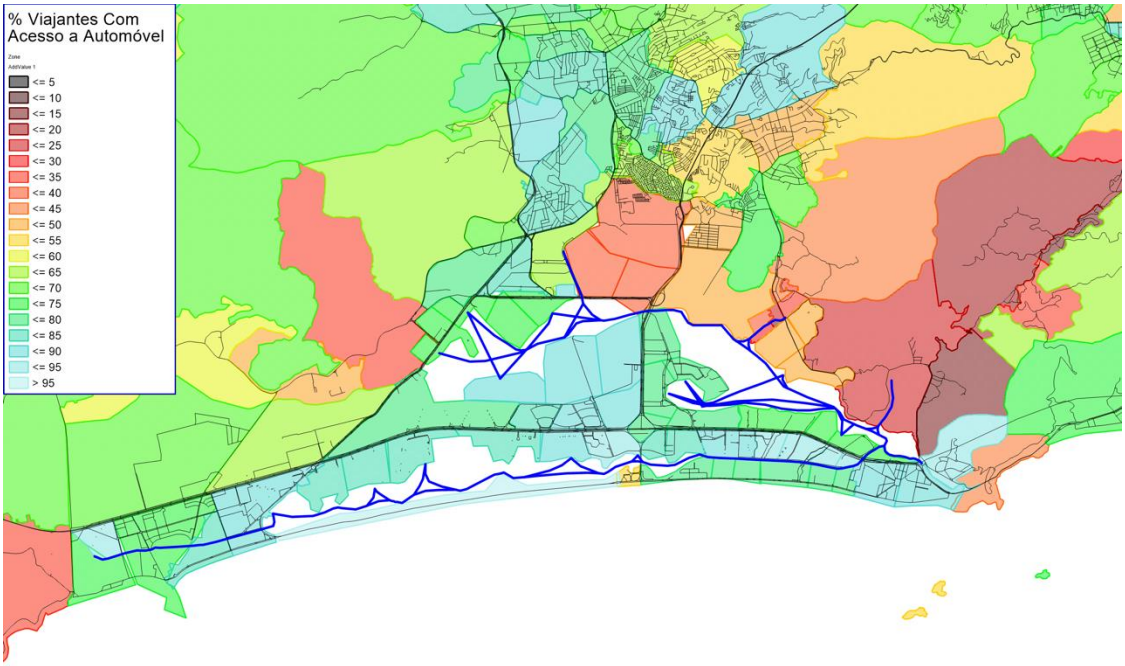


Figura 4 – Distribuição da população por renda (% moradores com renda acima de 3 salários-mínimos)

D.I.1.4) Aspectos Geográficos

O trânsito de embarcações se estende por toda a área navegável das Lagoas de Marapendi e Tijuca. Entretanto, alguns fatores impedem os barcos de terem acesso a todo o complexo lagunar

D.I.1.4.1) Bancos de Areia

O principal fator limitante é a presença de bancos de areia entre as Lagoas as Tijuca e de Jacarepaguá e na Lagoa de Marapendi, na altura da Praia da Reserva.

O efeito o das marés cria ciclos quinzenais de variação e determina a altura da lâmina d'agua sobre os bancos de areia e, portanto, determina também o acesso à algumas regiões do complexo lagunar. A imagem abaixo indica a posição destes bancos de areia e, como poderá ser visto adiante, limita claramente toda atividade náutica.

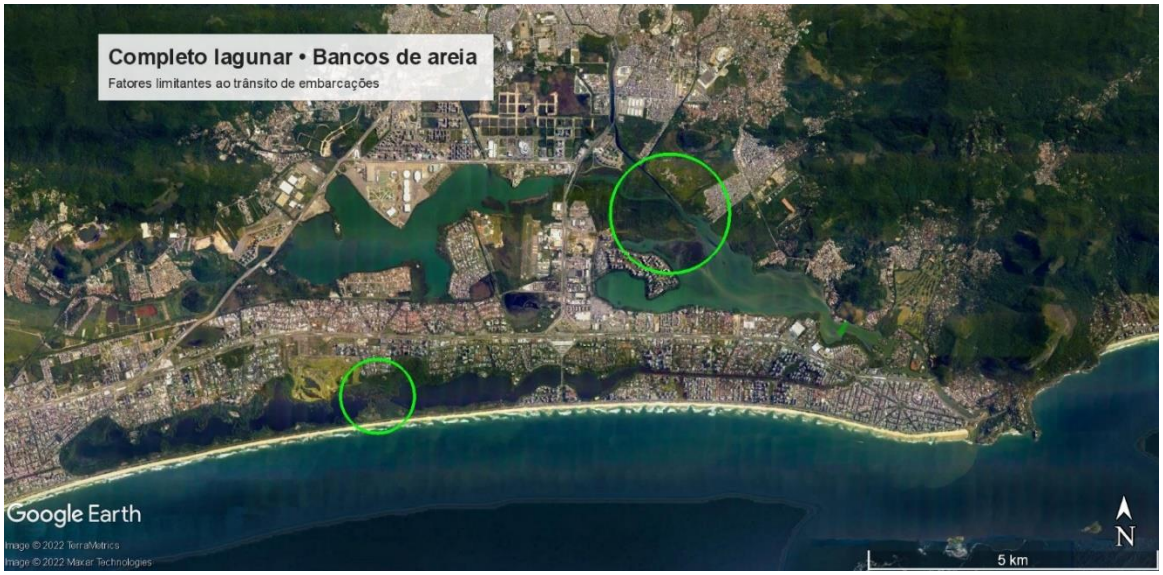


Figura 5 – Bancos de Areia

D.I.1.4.2) Ecobarreira

Outro fator determinante para o trânsito de embarcações na Lagoa da Tijuca é a presença da chamada Ecobarreira. Trata-se de uma barreira confeccionada em material flutuante que tem o objetivo de conter o lixo proveniente dos núcleos urbanos situados a montante, em direção à Lagoa de Jacarepaguá.

Figura 6 – Localização e imagens das Ecobarreiras na Lagoa da Tijuca

D.I.1.5) Serviços Aquaviários Existentes

Trata-se de um mercado que se autorregulou, onde cerca de quatro empresas repartem entre si a demanda, segundo critérios geográficos e modalidade de serviço.

As modalidades existentes podem ser segmentadas em quatro tipos de serviço.

- Serviço de ligação para a estação Jardim Oceânico do metrô
- Contrato comercial de travessia
- Passeio turístico
- Táxi (ligação busca e leva)

D.I.1.5.1) Serviço de ligação para a estação Jardim Oceânico do Metrô – Trajeto horizontal

Faz a ligação entre os Píeres existentes que se conectam com os logradouros públicos através do Canal do Marapendi e entorno da Ilha da Gigoia.

De modo geral, as tarifas se organizam segundo a distância percorrida, variando entre E$5,00, R$6,00, R$ 10,00 e R$20,00. As tarifas e os trajetos, podem ser assim ilustrados.

Figura 7 – Tarifas e Trajetos dos serviços de ligação com a estação Jardim Oceânico do Metrô

D.I.1.5.2) Contrato comercial de travessia – Trajeto vertical

A Barra da Tijuca teve seu grande impulso de ocupação a partir da década de 1970, direcionado por um Plano Piloto que previa a urbanização associada à preservação do meio ambiente conhecido como Plano Lucio Costa. A concepção de moradia detalhada no Plano fala sobre a construção de núcleos autônomos constituíram e ainda constituem a característica mais marcante da Barra da Tijuca, os condomínios fechados.

Assim, a Barra da Tijuca se encontra repartida entre esses condomínios que passaram a emprestar seus nomes à região onde se localizam. E aos píeres do atual transporte lagunar.

D.I.1.5.3) Serviços de Condomínios da Lagoa de Marapendi

Os condomínios situados na margem norte do canal de Marapendi oferecem para seus moradores a travessia para a margem sul, que dá acesso à praia e à Avenida Lucio Costa, que dispõe de transporte público. Trata-se de percursos que variam entre 400m e 1200m.

Sob o aspecto comercial, ocorre que esses condomínios contratam os serviços de transporte e embutem o custo na mensalidade condominial, são os

chamados Contratos de Fretamento, deixando a percepção de gratuidade do serviço. As imagens abaixo ilustram alguns píeres e o trajeto das travessias.

Figura 8 Travessias da Lagoa de Marapendi, Píer M31 Condomínio Nova Ipanema e Píer M38 Praia da Reserva

D.I.1.5.4) Serviços na Lagoa da Tijuca - Península x Barra Shopping

A região denominada Península é um trecho destacado da malha urbana da Barra da Tijuca e de adensamento urbano recente. Por se tratar de fato de uma península, o acesso à essa área, quer seja por meio de ônibus ou automóveis, se dá através de um único ponto de acesso na malha viária, que atua como um gargalo no trânsito local.

O Barra Shopping é um centro comercial de grande porte e polo de atração metropolitana no que diz respeito ao porte físico e à capacidade de faturamento. A sua força de atração é enorme. É natural então o fluxo de pessoas a partir de todas as regiões da Barra e da Península.

Caso fosse feito a pé o trajeto entre o Barra Shopping e a Península, seriam de 1500m e demandaria cerca de 15 minutos. De carro, o percurso pode ser feito em cerca de 7 minutos, desde que o trânsito esteja livre.

O acesso ao Barra Shopping a partir da Península, por meio da travessia na Lagoa da Tijuca, tem o objetivo de diminuir o percurso a pé, reduzindo o trajeto para 540m. A tarifa atualmente praticada é equivalente à do ônibus, ou R$ 5,00.

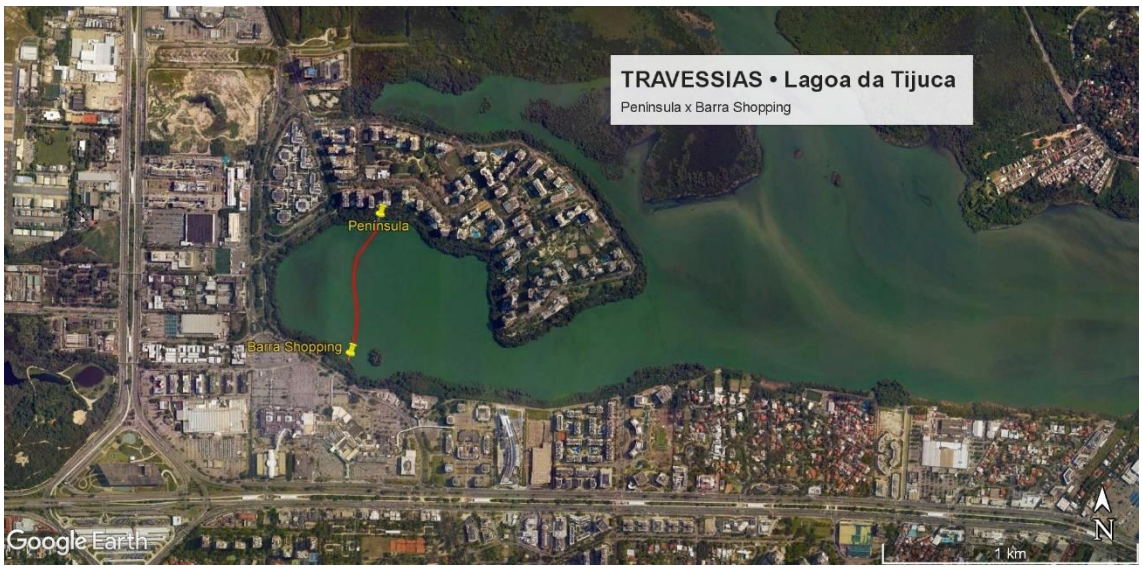


Figura 9 – Travessias da Lagoa da Tijuca, tipo de embarcação e Píer na Península

D.I.1.5.5) Serviços na Lagoa da Tijuca – Continente (metrô) x Ilha da Gigóia

A Ilha da Gigóia é a maior ilha da Lagoa da Tijuca, com cerca de 138mil m². Totalmente urbanizada e ocupada por residências, a Ilha vem se consolidando como polo gastronômico com diversos restaurantes a atrações noturnas. O único acesso à ilha e, portanto, aos restaurantes e residências, é feito por via aquática.

Neste contexto, a ligação com o continente através de balsas e outras embarcações é intrínseco à própria ocupação da ilha da Gigóia. As travessias se dão praticamente a partir de todos os píeres situados na margem sul do canal

que separa a ilha do continente. Na imagem abaixo está sinalizado o píer existente junto ao Shopping Barrapoint, que dista 450m da estação Jardim Oceânico do Metrô e do BRT.

A travessia leva menos de um minuto e é tarifada a R$3,00 para o público em geral e R$1,50 para os moradores da ilha.

Figura 10 Travesssia Ilha da Gigóia e Pier de atracação da travessia na Ilha da Gigoia

D.I.1.5.6) Passeio turístico

Os passeios são agendados com antecedência diretamente com os barqueiros responsáveis pelo transporte na região ou com as empresas que ali operam.

D.I.1.5.7) Serviços de Táxis Aquáticos

Com um funcionamento bastante simples, assemelha-se aos taxis urbanos ou transporte por aplicativos. Os barqueiros atendem a partir de chamados telefônicos, encontrando os passageiros em locais determinados e levando-os até os pontos desejados.

Parte II – Construção do Modelo de Simulação

D.II.1) Construção do Modelo de Simulação

Nesta seção será apresentada a metodologia de construção do modelo de simulação macroscópica desenvolvido durante este estudo para a estimativa de demanda para um Sistema de Transporte Público Aquaviário Lagunar para a Barra da Tijuca. Desde a última versão do PDTU – Plano Diretor de Transporte Urbano para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, foram obtidas as bases do zoneamento de transportes, as bases do desenho da rede viária, as matrizes-sementes de viagens de transporte público e privado para a hora pico da manhã e para a hora pico da tarde, e os indicadores socioeconômicos: população, empregos e matrículas escolares utilizados para o modelo de crescimento.

D.II.1.1) Zoneamento

Para este estudo foi utilizado como referência o zoneamento proposto para Região Metropolitana do Rio de Janeiro pelo PDTU, originalmente com 730 zonas de transporte. Algumas zonas de transporte da área de influência direta do estudo foram subdivididas e a maioria das zonas, externas à área de influência do estudo, foram agregadas, chegando-se a um total de 252 zonas.

Na Figura 11 pode-se visualizar o zoneamento utilizado.

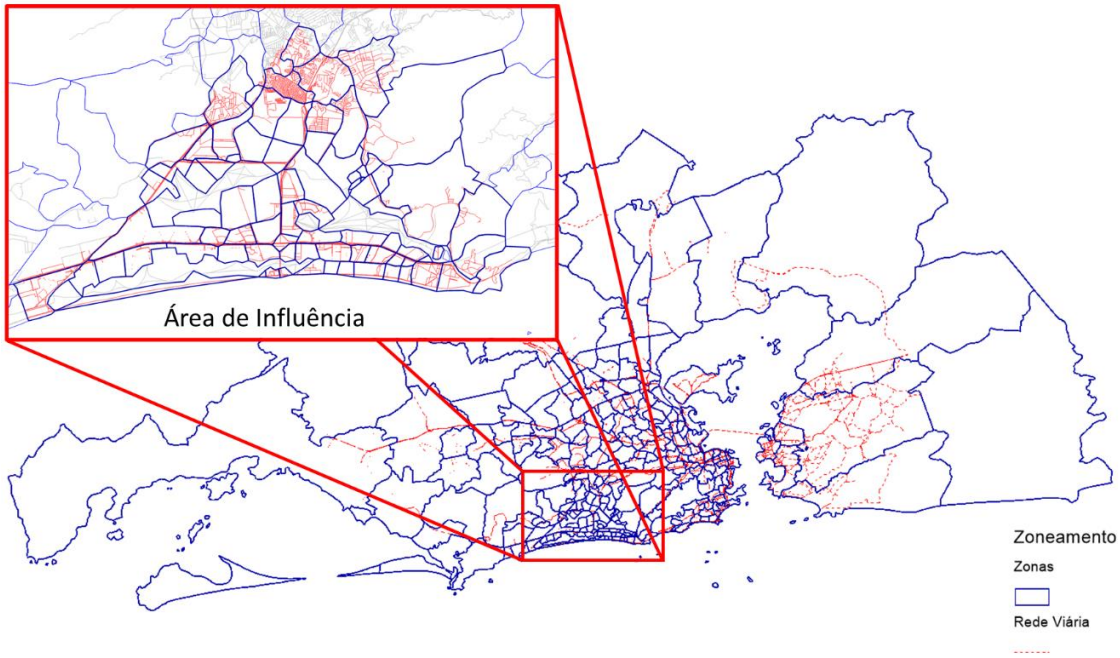


Figura 11 – Zoneamento base para a RMRJ e zoneamento utilizado neste estudo.

D.II.1.2) Revisão da rede viária atual

A rede viária da Região Metropolitana do Rio de Janeiro foi revisada, com maior nível de detalhamento na área de influência direta do estudo, em termos de número de faixas, cruzamentos e giros e incluídos os projetos de infraestrutura viária mais recentes. As variáveis que representam a rede viária no modelo de simulação são:

- Coordenadas dos nós: permitem que o modelo represente a rede rodoviária e calcule as extensões das seções
- Extensão dos trechos: extensões calculadas diretamente com as coordenadas dos nós;
- Velocidade de fluxo livre (FFS, free flow speed): é a velocidade da pista quando está livre, sem tráfego, e normalmente corresponde à velocidade máxima regulada para cada tipo de via. Essa velocidade depende das características geométricas da pista, condicionando seu desempenho operacional.
- Tipologia da rede: é a definição de grupos de caminhos com as mesmas características e que têm o mesmo comportamento na rede. A tipologia serve para a padronização da rede. As vias expressas, arteriais e coletoras foram subdivididas para refinar os parâmetros da rede e melhorar a sensibilidade do modelo;
- Número de faixas por trecho: Para cada via, se informa o número de pistas em cada seção.
- Conversões proibidas: para cada cruzamento se informa quais movimentos são permitidos ou proibidos
- Pistas exclusivas de BRT: São marcadas as vias que tem ou que terão (nos cenários futuros de simulação) faixas exclusivas de ônibus ou BRT;
- Capacidades:
- Links: corresponde ao volume de veículos que podem passar em uma seção rodoviária por hora. Permite a representação indireta das características físicas e geométricas da pista, como a largura das faixas, a existência de fricção lateral, a interferência com paradas de ônibus, entradas e saídas de edifícios.
- Nós/Cruzamentos: corresponde ao volume de veículos que pode passar por um cruzamento ao longo de uma hora; esta capacidade é dada em função da capacidade dos trechos viários que se cruzam no nó e do tipo de cruzamento/nó, seja um semáforo, um cruzamento sem semáforo, uma rampa de saída ou uma rampa de entrada em uma via

expressa ou em um ponto de redução de número de faixas em uma via expressa.

- Movimentos: corresponde ao volume de veículos que pode fazer um movimento horário, seja um giro à esquerda, à direita ou simplesmente continuar em frente. Esta capacidade é dada em função da capacidade das seções de via de onde cada movimento sai e para onde cada movimento vai, em cruzamentos, para as voltas à direita, esquerda e de retorno, essa capacidade é dada pela hierarquia menor entre a via de onde vem o movimento e para onde vai o movimento.
- Funções de volume-atraso: os tempos de viagem nas seções e os atrasos nos cruzamentos, junções, rampas e curvas aumentam de acordo com o volume de tráfego, para o qual foram aplicadas diferentes funções em seções, nós e movimentos. Nas seções, essas funções representam a redução de velocidade gerada pelo volume de tráfego, enquanto nos nós e movimentos as funções representam tempos de espera ou filas causadas por estrangulamentos.

A Figura 12 e a Figura 13 mostram as categorias viárias ou hierarquização da malha viária utilizada para a simulação, em seguida a Figura 14 e a Figura 15. Apresentam o número de faixas de cada trecho da malha viária. Na Tabela 5 da página 32 são apresentados os parâmetros para cada tipo de via.

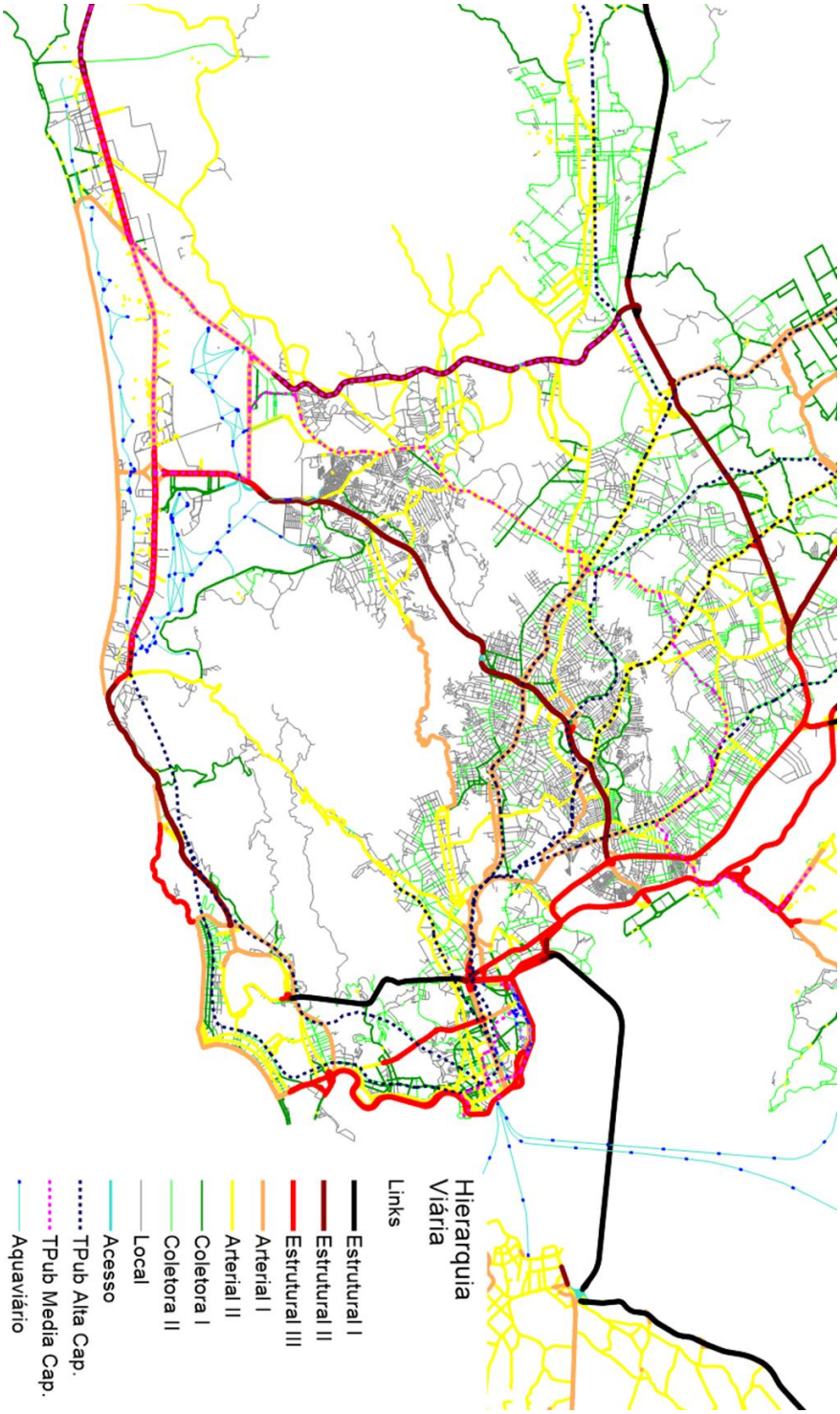


Figura 12 – Representação da rede de simulação hierarquizada da RMRJ (parâmetros das tipologias descritos na Tabela 5, pág 33)

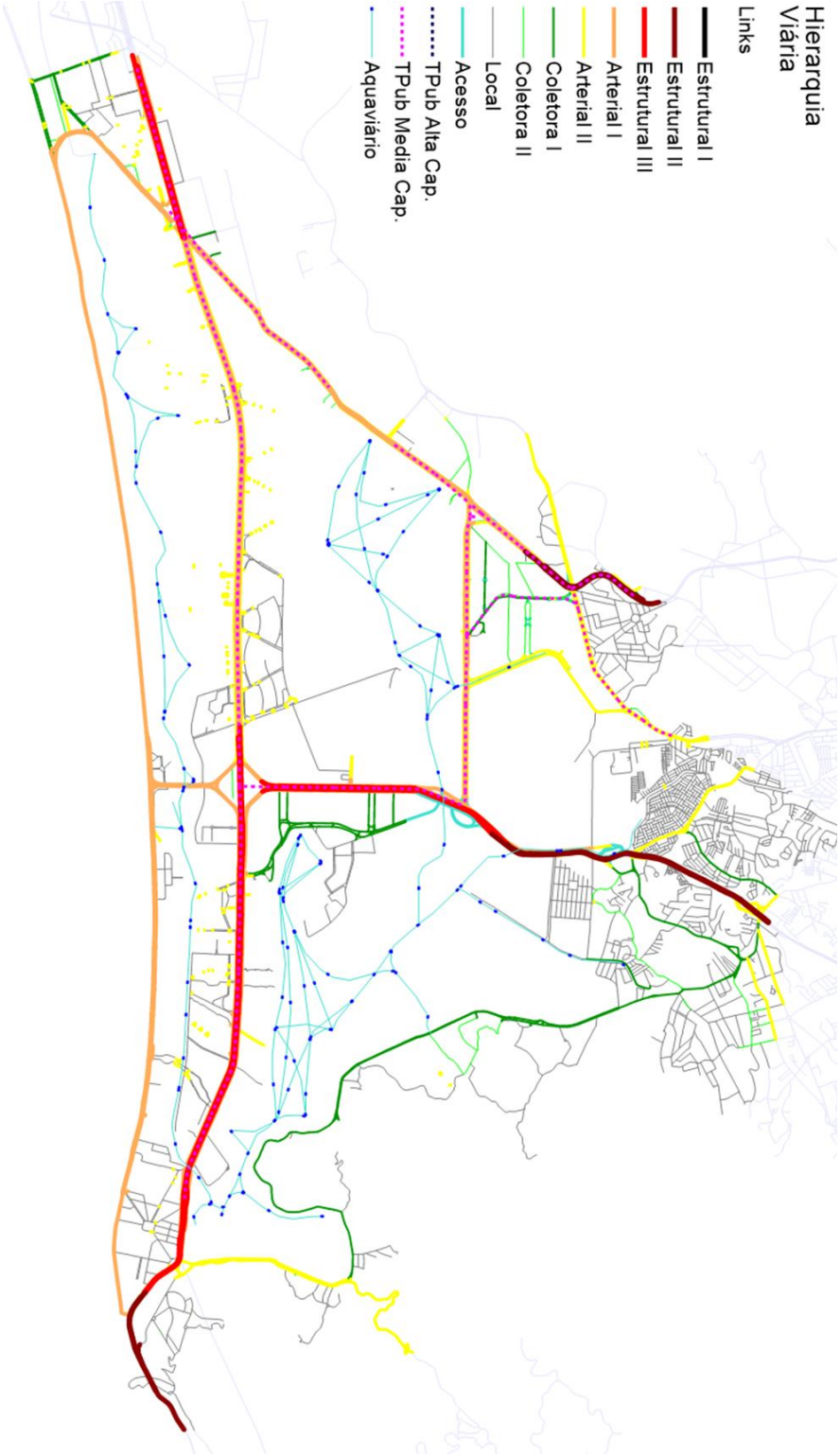


Figura 13 – Representação da rede de simulação hierarquizada na área de influência do projeto

Figura 14 – Número de faixas por trecho de via na rede de simulação da RMRJ

Figura 15 - Número de faixas por trecho de via na área de influência

D.II.1.3) Parametrização da rede de transporte público

As linhas de metrô, trem, VLT e BRT, mais as cerca de 360 linhas de ônibus da cidade do Rio de Janeiro e as 190 linhas intermunicipais foram totalmente desenhadas no modelo. A Figura 19 apresenta uma ilustração da rede de transporte público, mostrando a quantidade de linhas que passam por cada trecho de via.

O desenho e parametrização da rede de transporte público por ônibus com as respectivas frequências permite compor o volume inicial de veículos a ser considerado no modelo, daqui para frente denominado pré-carregamento ou volume básico. Para estimar quantos ônibus passam em cada trecho da rede viária, assumiu-se que as linhas de transporte público apresentam, a priori, comportamento regular e têm traçados fixos. Isto é feito antes de alocar a matriz de viagens de tráfego privado, de forma a que este volume ocupe o espaço viário correspondente no modelo.

Para estimar as frequências das linhas de ônibus, seus traçados foram cruzados com as demandas de transporte das zonas por onde passam as linhas, e assim, foram estimados os perfis de embarque de acordo com a demanda de origem e de desembarque com a demanda de destino. Em seguida, esta informação foi modulada pela quantidade total de viagens da matriz OD de transporte público da RMRJ, obtida desde o PDTU. Com esses perfis estimados foram obtidas as frequências iniciais das linhas de ônibus. A Figura 19 mostra a quantidade total de linhas de ônibus que passa em cada trecho da malha viária e a Figura 20 apresenta os respectivos volumes de ônibus ajustados no modelo.

Também foram localizados e inseridos no modelo todos os pontos de parada de ônibus da cidade do Rio de Janeiro (Figura 21), parte complementar na constituição do pré-carregamento pois eles comprometem a capacidade da via, proporcionalmente ao volume de ônibus que passa. Desta maneira, se constitui um fator de equivalência complementar que é somado ao fator base de 2.0 utilizado para os veículos de transporte público no modelo. Este fator é dado pelo volume passante de ônibus dividido por uma constante de ajuste igual a 4.000, obtida empiricamente. A Figura 22 mostra o pré-carregamento da rede em veículos equivalentes, calculado ao final desse processo.

Durante as simulações de transporte público, as velocidades dos ônibus nos trechos de via de tráfego compartilhado são obtidas a partir das velocidades modeladas do transporte privado, após a alocação da matriz de automóveis. As velocidades do tráfego privado são convertidas em velocidades de veículos de transporte público de acordo com a função apresentada na Figura 16. Para as linhas de ônibus é adicionado um tempo de parada em cada ponto de 15 segundos.

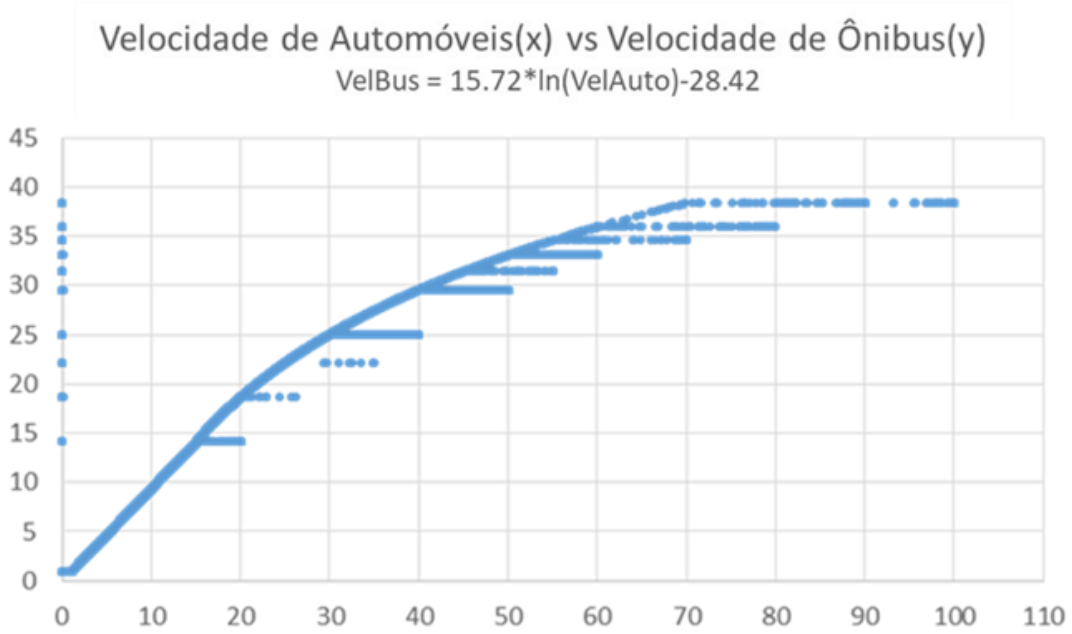


Figura 16 – Relação entre a velocidade modelada de transporte privado e a velocidade dos ônibus em vias de tráfego compartilhado

A função utilizada procura refletir o comportamento dos deslocamentos dos ônibus, que na situação de congestionamento ou em vias lentas se desloca a velocidades parecidas com a dos automóveis, porém quando o trânsito flui mais rápido, eles são mais lentos, pois apresentam velocidades máximas predeterminadas.

Para as linhas de metrô, foram fornecidos pelo MetrôRio os tempos de viagem teóricos e para as linhas de trem foram obtidos os tempos teóricos desde o website da SuperVia. A Figura 17 apresenta as velocidades adotadas no modelo ao longo da rede de transporte massivo segregado do Rio de Janeiro. A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam os tempos de viagem de ponta a ponta de cada linha de transporte massivo segregado, bem como os tempos de parada adotados para cada modo e que foram considerados na composição destes tempos de percurso no modelo.

Tabela 2 – Tempos de viagem modelados para as linhas dos sistemas de transporte massivo

Sistema	Linha	Tempo de Parada (s)	Tempo de Viagem (min)	Comprimento (km)	Vel Media (km/h)
Metrô	Metro_L1_Jd.Oceanico	30	48	29	37
	Metro_L2_Botafogo	30	56	30	32
Trem	Belford_Roxo_Parador	30	60	33	33
	Deodoro_Parador	30	45	22	29
	Guapimirim_Parador	30	75	40	32
	Japeri_Parador	30	100	61	37
	Paracambi_Parador	30	15	9	35
	Santa_Cruz_Parador	30	90	55	37
	Saracuruna_Parador	30	68	36	32
	Vila_Inhomirim_Parador	30	29	15	31
VLT	Linha_1_Azul	20	24	6	16
	Linha_2_Verde	20	19	5	16
Barcas	Praça_XV_-_Arariboia	0	20	5	15
	Praça_XV_-_Charitas	0	20	8	25
	Praça_XV_-_Cocotá	0	56	13	14
	Praça_XV_-_Paquetá	0	61	19	19

Tabela 3 – Tempos de viagem modelados para as linhas de BRT

Sistema	Linha	Tempo de Parada (s)	Tempo de Viagem (min)	Comprimento (km)	Vel Media (km/h)
BRT	10_Santa_Cruz_x_Alvorada._Direto	20	71	38	33
	10_Santa_Cruz_x_Alvorada._Expresso	20	82	38	28
	11_Santa_Cruz_x_Alvorada._Parador	20	82	38	28
	12_Magarça_x_Alvorada._Expresso	20	54	29	32
	12_Pingo_D'água_x_Alvorada._Direto	20	58	31	33
	12_Pingo_D'água_x_Alvorada._Expresso	20	59	31	32
	13_Mato_Alto_x_Alvorada._Direto	20	45	25	33
	13_Mato_Alto_x_Alvorada._Expresso	20	46	25	32
	15_Paciência_x_Salvador_Allende._Expresso	20	62	32	31
	17_Campo_Grande_x_Santa_Cruz._Parador	20	36	16	26
	18_Jardim_Oceânico_x_Recreio._Expresso	20	40	20	30
	19_Pingo_D'água_x_Salvador_Allende._Expresso	20	44	23	32
	20_Santa_Cruz_x_Salvador_Allende._Expresso	20	59	30	31
	21A_Jardim_Oceânico_x_Recreio._Parador	20	45	20	26
	22_Jarim_Oceânico_x_Alvorada._Parador	20	13	6	27
	25_Mato_Alto_x_Jd._Oceânico._Semi_Expresso	20	60	30	30
	30_Alvorada_x_Galeão._Semidireto	20	71	38	32
	31_Vicente_de_Carvalho_x_Alvorada._Semidireto	20	43	23	32
	33_Santa_Efigênia_x_Penha._Expresso	20	34	17	30
	35_Alvorada_x_Madureira._Parador	20	43	19	27
	36_Alvorada_x_Fundão._Expresso	20	66	34	31
	38_Alvorada_x_Fundão._Parador	20	76	34	27
	40_Madureira_x_Jardim_Oceânico._Expresso	20	49	25	30
	41_Madureira_x_Terminal_Recreio._Expresso	20	38	20	31
	42_Divina_Providência_x_Fundão._Parador	20	53	24	27
	50_Jardim_Oceânico_x_Centro_Olímpico._Parador	20	28	12	27
	51_Recreio_x_Vila_Militar._Parador	20	43	20	29
	53_Jardim_Oceânico_x_Sulacap._Expresso	20	47	24	31
	Magarça_x_Alvorada._Direto	20	53	29	33

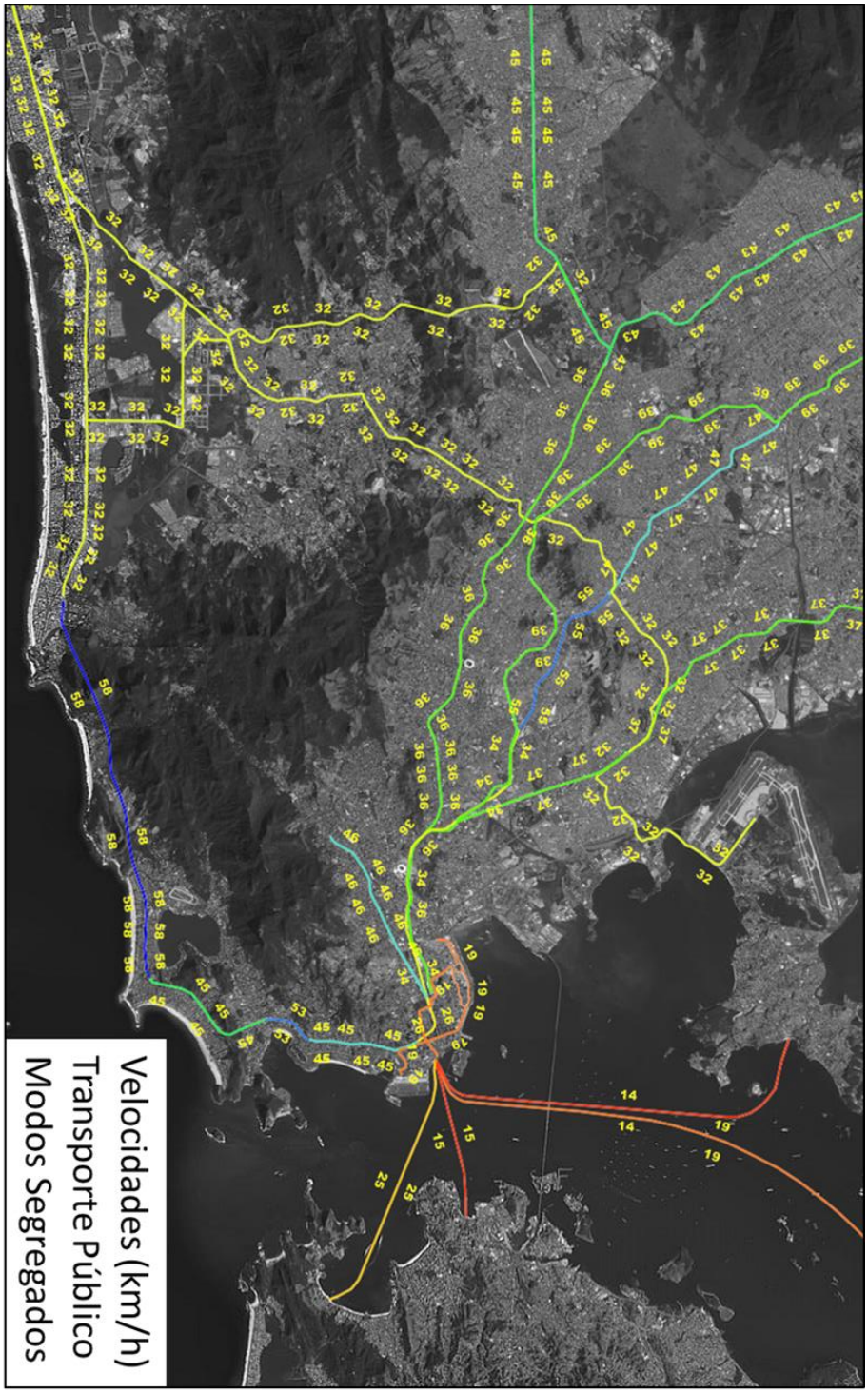


Figura 17 – Velocidades fixas atribuídas no modelo para a rede de transporte massivo segregado

As tarifas integrais de cada modo foram parametrizadas, e em seguida foram definidos os descontos oferecidos pelas políticas de integração entre os

sistemas. A Tabela 4 apresenta como os sistemas tarifários do Rio de Janeiro foram incluídos no modelo de acordo com as fontes apresentadas na Figura 18.

Tabela 4 – Tarifas Integrais e matriz de descontos das integrações

Modo	Bilhete	Tarifa Inicial	OM	BUCox	BUCom	BUIoi	IC	IM	IL	BUIiic	BUIiim	BUIiil	BR	BUCro	BUIrm	LR	BUCll	BUClo	BUIlc	BC	BUIcx	MT	BUCmc	BUImr	BUImt	MS	TS	BUItx
Ônibus Municipal	OM	4,05	4,05	4,05	7,40	8,55	6,00	9,00	15,00	6,00	8,55	8,55	4,05	4,05	8,55	3,80	3,80	4,05	8,55	6,30	8,55	6,50	7,40	8,15	8,55	6,50	5,00	8,55
	BUCox	4,05	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	BUCom	7,40	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00
	BUIoi	8,55	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	-2,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Ônibus Intermunicipal	IC	6,00	4,05	4,05	7,40	8,55	6,00	9,00	15,00	6,00	8,55	8,55	4,05	4,05	8,55	3,80	3,80	4,05	8,55	6,30	8,55	6,50	7,40	8,15	8,55	6,50	5,00	8,55
	IM	9,00	4,05	4,05	7,40	8,55	6,00	9,00	15,00	6,00	8,55	8,55	4,05	4,05	8,55	3,80	3,80	4,05	8,55	6,30	8,55	6,50	7,40	8,15	8,55	6,50	5,00	8,55
	IL	15,00	4,05	4,05	7,40	8,55	6,00	9,00	15,00	6,00	8,55	8,55	4,05	4,05	8,55	3,80	3,80	4,05	8,55	6,30	8,55	6,50	7,40	8,15	8,55	6,50	5,00	8,55
	BUIiic	6,00	2,55	3,00	3,00	3,00	2,55	2,55	3,55	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	2,55	30,00	30,00	30,00	2,55	30,00	2,55	30,00	30,00	30,00	30,00	2,55	30,00
	BUIiim	8,55	0,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	4,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00
	BUIiil	8,55	0,00	30,00	30,00	30,00	1,00	4,00	10,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00
BRT	BR	4,05	4,05	4,05	7,40	8,55	6,00	9,00	15,00	6,00	8,55	8,55	0,00	4,05	8,55	3,80	3,80	4,05	8,55	6,30	8,55	6,50	7,40	8,15	8,55	6,50	5,00	8,55
	BUCro	4,05	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	BUIrm	8,15	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
VLT	LR	3,80	4,05	4,05	7,40	8,55	6,00	9,00	15,00	6,00	8,55	8,55	4,05	4,05	8,55	3,80	3,80	4,05	8,55	6,30	8,55	6,50	7,40	8,15	8,55	6,50	5,00	8,55
	BUCll	3,80	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	BUClo	4,05	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	BUIlc	8,55	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Barca	BC	6,30	4,05	4,05	7,40	8,55	6,00	9,00	15,00	6,00	8,55	4,05	4,05	4,05	8,55	3,80	3,80	4,05	8,55	6,30	8,55	6,50	7,40	8,15	8,55	6,50	5,00	8,55
	BUIcx	8,55	-2,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Metrô	MT	6,50	4,05	4,05	7,40	8,55	6,00	9,00	15,00	6,00	8,55	8,55	4,05	4,05	8,55	3,80	3,80	4,05	8,55	6,30	8,55	0,00	7,40	8,15	8,55	0,00	5,00	8,55
	BUCmo	7,40	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	BUImr	8,15	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	BUImt	8,55	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	0,00	30,00
MNS	MS	6,50	4,05	4,05	7,40	8,55	6,00	9,00	15,00	6,00	8,55	8,55	4,05	4,05	8,55	3,80	3,80	4,05	8,55	6,30	8,55	0,00	7,40	0,00	8,55	6,50	5,00	8,55
Trem	TS	5,00	4,05	4,05	7,40	8,55	6,00	9,00	15,00	6,00	8,55	8,55	4,05	4,05	8,55	3,80	3,80	4,05	8,55	6,30	8,55	6,50	7,40	8,15	8,55	6,50	0,00	8,55
	BUItx	8,55	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00

Legenda:		*a* | *b*	
OM	Ônibus Municipal	o	ônibus municipal
BUC*ab*	Bilhete Único Carioca integrando do modo *a* para o *b*	x	vários modos
BUI*ab*	Bilhete Único Intermunicipal integrando do modo *a* para o *b*	i	ônibus intermunicipal
BUIiic	integração de ônibus intermunicipal a partir de linha curta	r	brt
BUIiim	integração de ônibus intermunicipal a partir de linha média	m	metrô
BUIiil	integração de ônibus intermunicipal a partir de linha longa	l	vlt
		c	barca
		t	trem/supervia

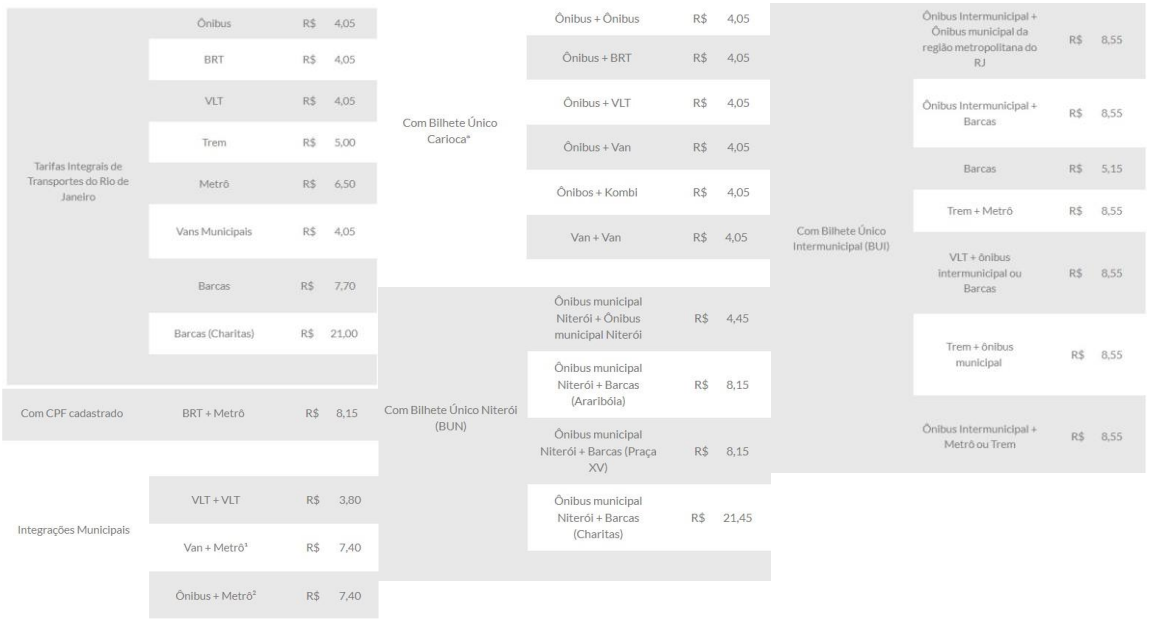


Figura 18 – Tabelas de referência para parametrização do sistema tarifário fonte: https://www.cartaoriocard.com.br/rcc/institucional/tarifas

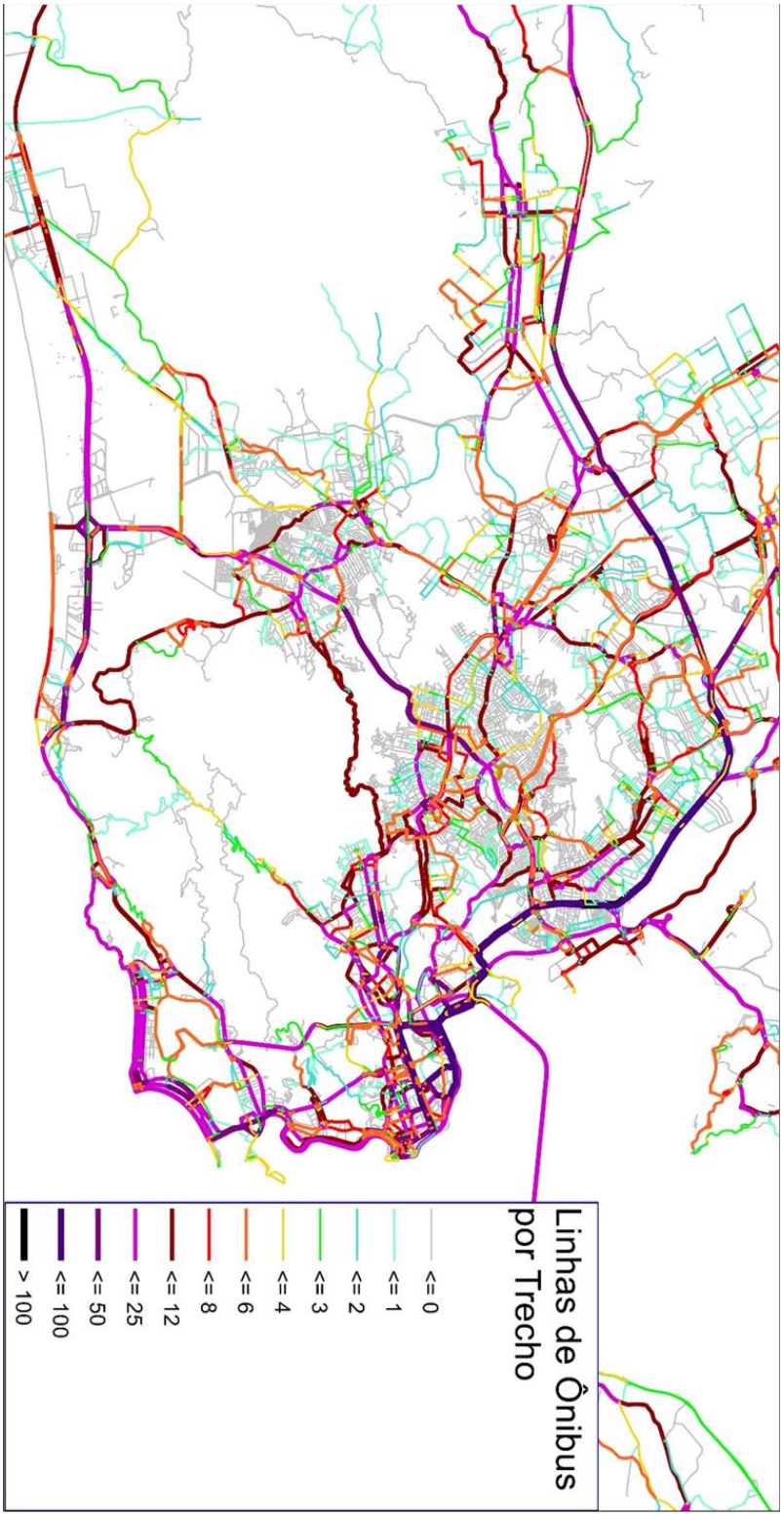


Figura 19 – Malha de transporte público, quantidade de linhas por trecho de via

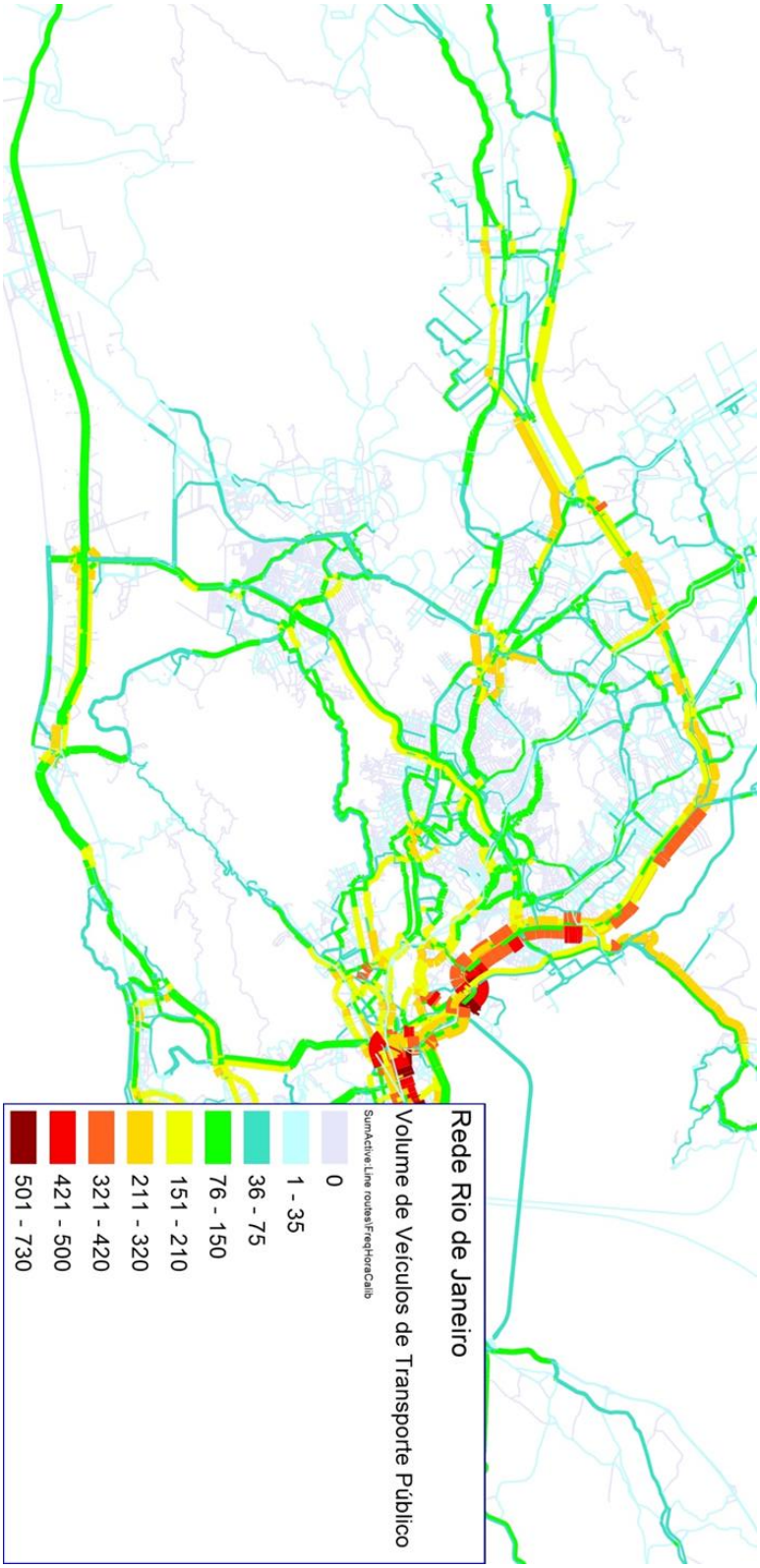


Figura 20 – Volumes de veículos de transporte público

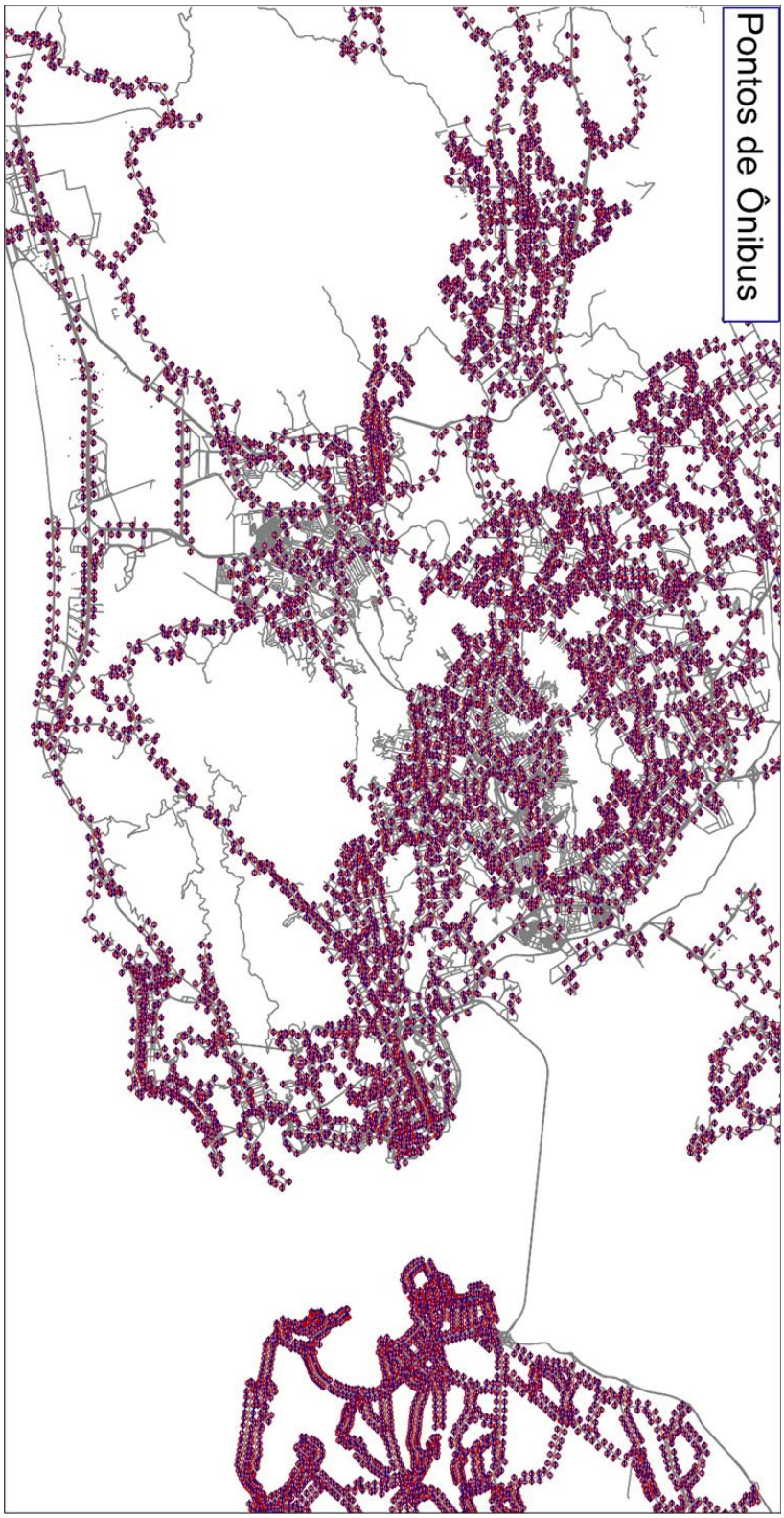


Figura 21 – Pontos de paradas de ônibus urbano inseridos no modelo

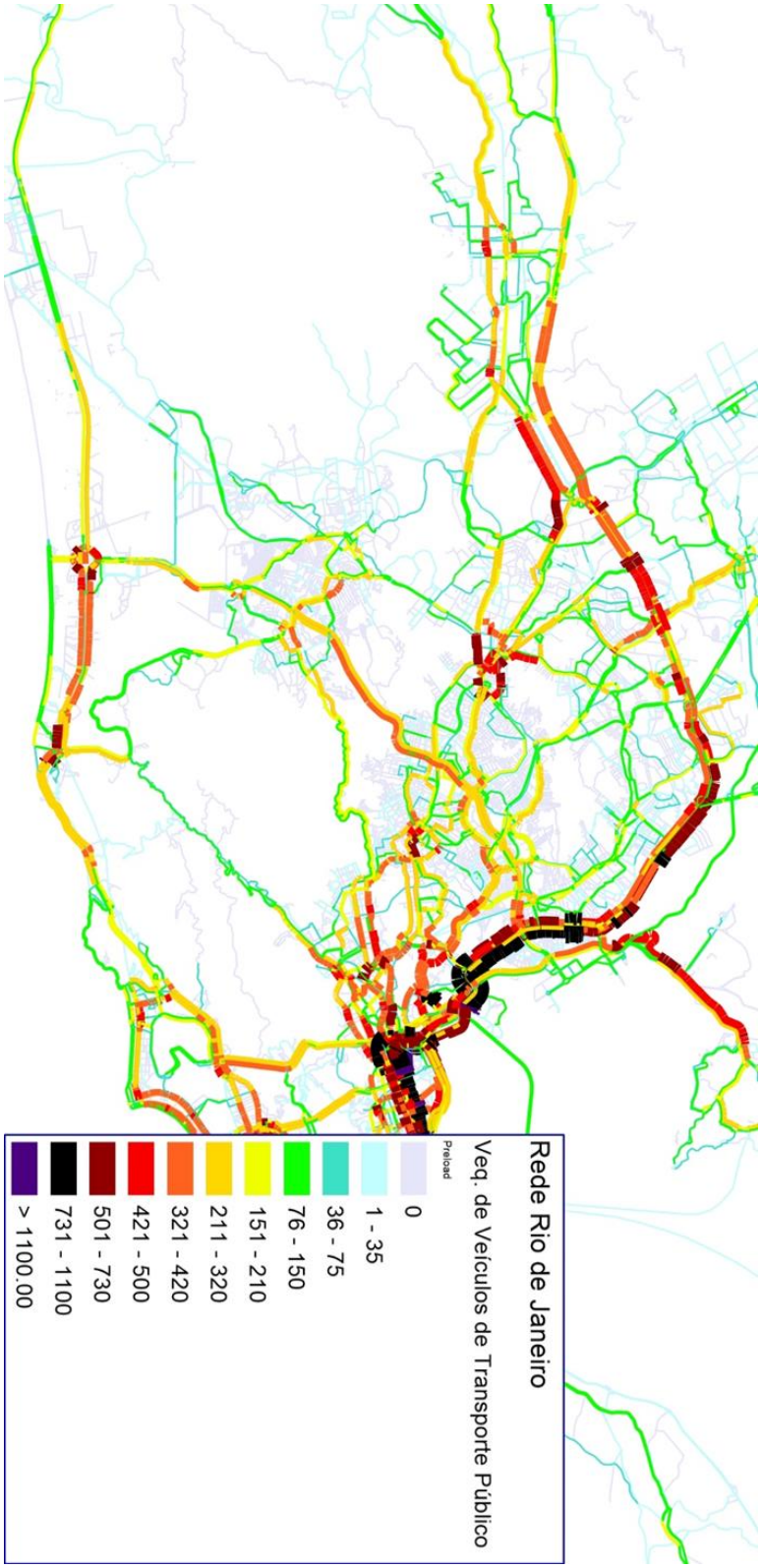


Figura 22 – Pré-carregamento final do modelo de tráfego

D.II.1.4) Parametrização de atrasos e reduções de velocidade

Os parâmetros e funções que representam o comportamento do trânsito nos trechos e cruzamentos foram inseridos no modelo de acordo com suas características físicas e operacionais, conforme a classificação que cada via apresenta, expressando também os tempos de viagem e os atrasos. Os atrasos no modelo foram divididos em duas partes, uma parte relativa à redução de velocidade nos trechos de via (links) e outra parte relativa à formação de filas nas junções.

Para representar as reduções de velocidade nos trechos foram usadas funções BPR que possuem o seguinte formato:

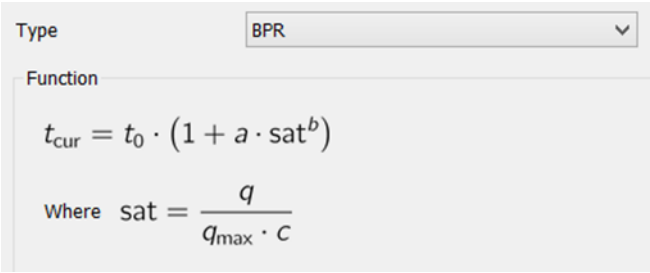


Figura 23 – Função BPR de volume-atraso aplicada nos links/trechos

Sendo:

- **tcur**: o tempo final de percurso no trecho considerando a ocupação da via
- t0: o tempo de percurso livre no trecho, com a via desocupada
- **qmax**: capacidade, ou a quantidade admitida no período de análise (nesse estudo, como feito tipicamente, 1 hora) pela seção viária antes da mesma entrar em supersaturação. Este número pode ser modulado por c, variável na prática redundante e que normalmente é mantida com o valor 1.
- **sat**: nível de saturação ou ocupação da via, dada pela razão entre o fluxo e a capacidade da via
- **b**: constante exponencial que define o quanto o atraso se pronuncia conforme a via fica saturada (sat)
- **a**: constante linear multiplicativa do tempo adicional de atraso devido à ocupação da via

Abaixo segue uma tabela com os valores usados para compor as funções para cada tipo de via. Essas funções foram baseadas no informe 716 desenvolvido pelo NCHRP em 2012 (Tabela 5)

Tabela 5 – Parâmetros das funcões BPR por tipo de via

Hierarquia	Capacidade por Faixa Veq/h	Velocidade Fluxo Livre (km/h)	Parametros BPR		
			a	b	c
Estrutural 1	1500	100	0.48	6.95	1
Estrutural 2	1300	90	0.84	5.56	1
Estrutural 3	1200	80	0.84	4.98	1
Arterial 1	1100	70	0.53	4.40	1
Arterial 2	1000	60	0.53	4.40	1
Coletora 1	800	50	0.82	3.10	1
Coletora 2	600	40	0.82	2.74	1
Local	300	20	1.00	6.00	1

O seguir se apresenta um gráfico (Figura 24) que relaciona o fluxo por faixa com a velocidade resultante das funções de volume-atraso em cada tipo de via, com base nas funções definidas.

No entanto, apenas a redução das velocidades nas seções não é suficiente para retratar todos os atrasos gerados pelos congestionamentos nas redes urbanas, já que ainda não reflete os tempos de espera provenientes das filas formadas a partir dos cruzamentos e junções, sejam eles semaforizados ou não. Em seguida, cada junção teve sua capacidade recalculada, com base nas capacidades das vias acima e abaixo, considerando os respectivos pré-carregamentos de ônibus.

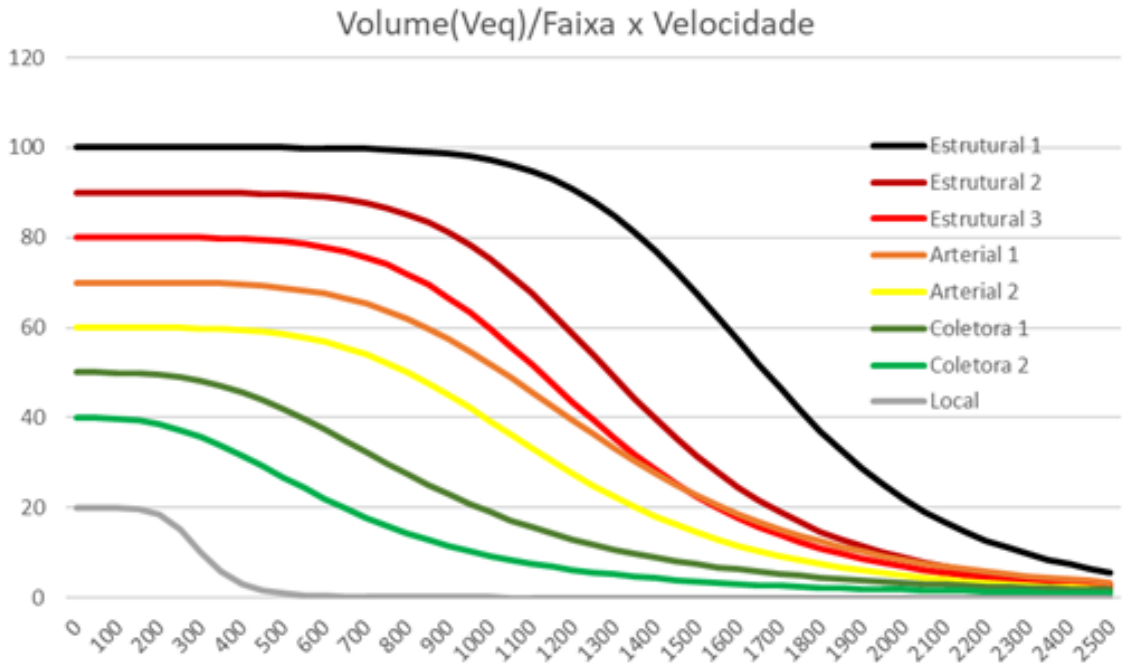


Figura 24 - Velocidade X fluxo por faixa, por tipo de via

No modelo as funções de atraso para as junções foram divididas em três categorias:

- Pontos de convergência de fluxos, ou gargalos: estes pontos são os cruzamentos não semaforizados ou rampas de acessos e pontos de redução de número de faixas em vias expressas;
- Pontos de divergência de fluxos: giros em bifurcações de vias expressas;
- Cruzamentos semaforizados: Todos os semáforos da cidade do Rio de Janeiro foram identificados (Figura 25) e suas capacidades determinadas pelas aproximações de maior hierarquia e fatores de atrito, em função das hierarquias das aproximações do cruzamento e seus giros têm suas capacidades estimadas em função do número de faixas antes e depois dos mesmos.

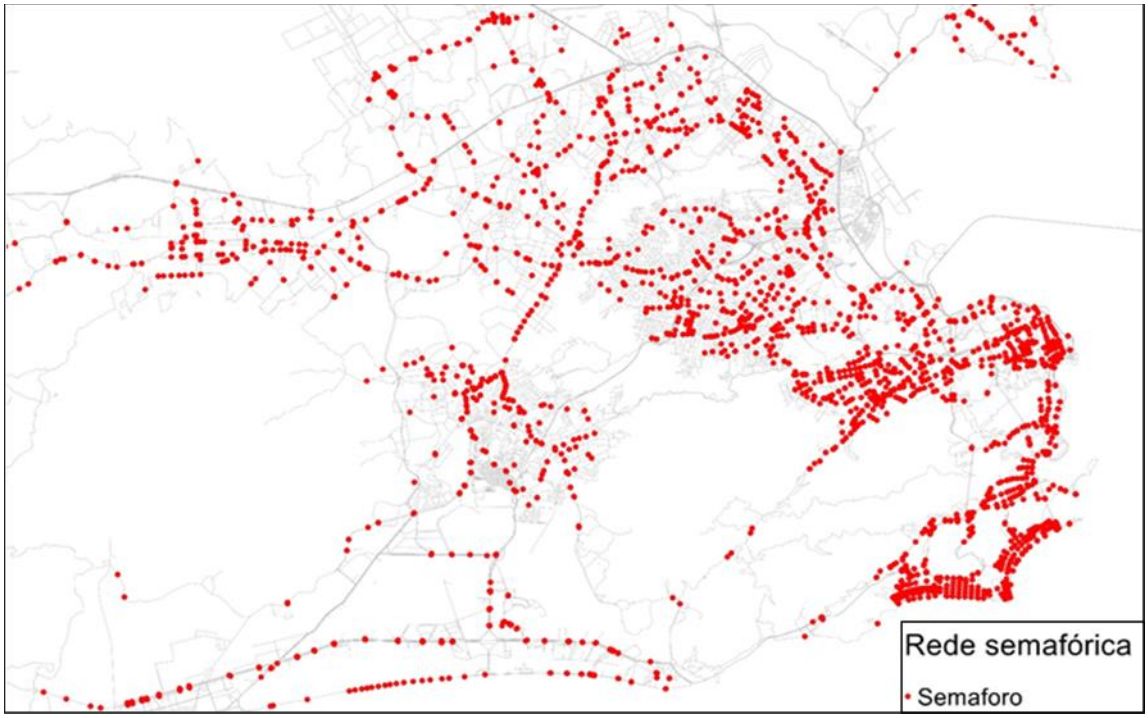


Figura 25 – Localização dos cruzamentos semaforizados da cidade do Rio de Janeiro

Foi utilizada uma função TMODEL_NODES (Figura 26), semelhante a uma função BPR, mas dividida em duas partes: a primeira reflete o comportamento de pré-saturação e a segunda, o comportamento em saturação.

Type TMODEL_NODES

Function

$$t_{cur} = \begin{cases} (t_0 + a) + d \cdot (\text{sat} + f)^b, & \text{sat} \leq \text{sat}_{crit} \\ (t_0 + a') + d' \cdot (\text{sat} + f')^{b'}, & \text{sat} > \text{sat}_{crit} \end{cases}$$

Where $\text{sat} = \dfrac{q}{q_{max} \cdot c}$ satCrit =

Figura 26 – Função TMODEL_NODES, de atraso em função do volume

Para tratar os cruzamentos com semáforos, as capacidades foram recalculadas de acordo com as capacidades disponíveis (descontando-se os pré-carregamentos) de suas vias principais, com fatores de redução para representar as perdas devido a fatores comportamentais dos condutores em diferentes hierarquias (Tabela 6), que resultam em maior fricção lateral e que afetam o desempenho dos cruzamentos.

Tabela 6 – Descontos de capacidade em cruzamentos semaforizados

Semaforos		Desconto de Capacidade
Vermelho Total+ Pedestres		15%
Perdas Comportamentais e por fricção	Estrutural 1	4%
	Estrutural 2	5%
	Estrutural 3	6%
	Tunel	8%
	Acesso	10%
	Arterial 1	10%
	Arterial 2	12%
	Coletora 1	15%
	Coletora 2	18%
	Local	22%
	Viela	35%

Para os pontos de bifurcação nas vias rápidas e para os cruzamentos, semaforizados ou não, as funções de TMODEL_NODES também foram usadas para os giros ou movimentos, que foram divididos entre esquerda, direita e travessia. Para que seja possível estabelecer um contraste entre os atrasos dos diferentes movimentos, ao contrário dos pontos de convergência com movimentos conflitantes, onde os atrasos em geral se aplicam a todos os movimentos de forma mais homogênea.

As capacidades dos movimentos de bifurcações nas vias expressas foram determinadas pela capacidade mínima entre a seção à montante e a seção do acesso/saída (descontados os pré-carregamentos). A capacidade das voltas nos cruzamentos foi calculada de acordo com as capacidades mínimas (descontados os pré-carregamentos) por pista entre as seções de acesso e saída da curva. Cada movimento tem um número específico de faixas disponíveis, dependendo do número de faixas na pista à montante e da faixa à jusante do respectivo movimento (Tabela 7).

A Tabela 8 e Figura 27 mostram os parâmetros utilizados nas diferentes funções TMODEL_NODES aplicadas no modelo.

Tabela 7 – Faixas disponíveis para os movimentos em cruzamentos

Em Frente	Faixas disponíveis para o Movimento – Faixas à jusante 1	2	3	4	5	6
Faixas à montante 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3	1.00	2.00	3.00	3.00	3.00	3.00
4	1.00	2.00	3.00	4.00	4.00	4.00
5	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	5.00
6	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00

Direita	Faixas disponíveis para o Movimento – Faixas à jusante 1	2	3	4	5	6
Faixas à montante 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
4	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
5	1.00	2.00	2.30	2.30	2.30	2.30
6	1.00	2.00	2.30	2.30	2.30	2.30

Esquerda	Faixas disponíveis para o Movimento – Faixas à jusante 1	2	3	4	5	6
Faixas à montante 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	1.00	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
5	1.00	1.25	1.55	1.55	1.55	1.55
6	1.00	1.25	1.55	1.55	1.55	1.55

Tabela 8 – Parâmetros das funções TMODEL-NODES usadas

Parâmetros	Movimentos			Nós		
	Esquerda	Direita	Em Frente	Esquerda	Direita	Em Frente
a'	4.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b'	1.00	1.20	1.50	3.00	3.00	3.00
c	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
d'	24.00	20.00	15.00	15.00	15.00	15.00
f'	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
a'	12.00	10.00	7.00	5.00	5.00	5.00
b'	7.50	6.00	4.50	9.00	9.00	9.00
d'	12.00	10.00	8.00	10.00	10.00	10.00
f'	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SatCrit	1.00	1.00	1.00	0.70	0.75	1.00

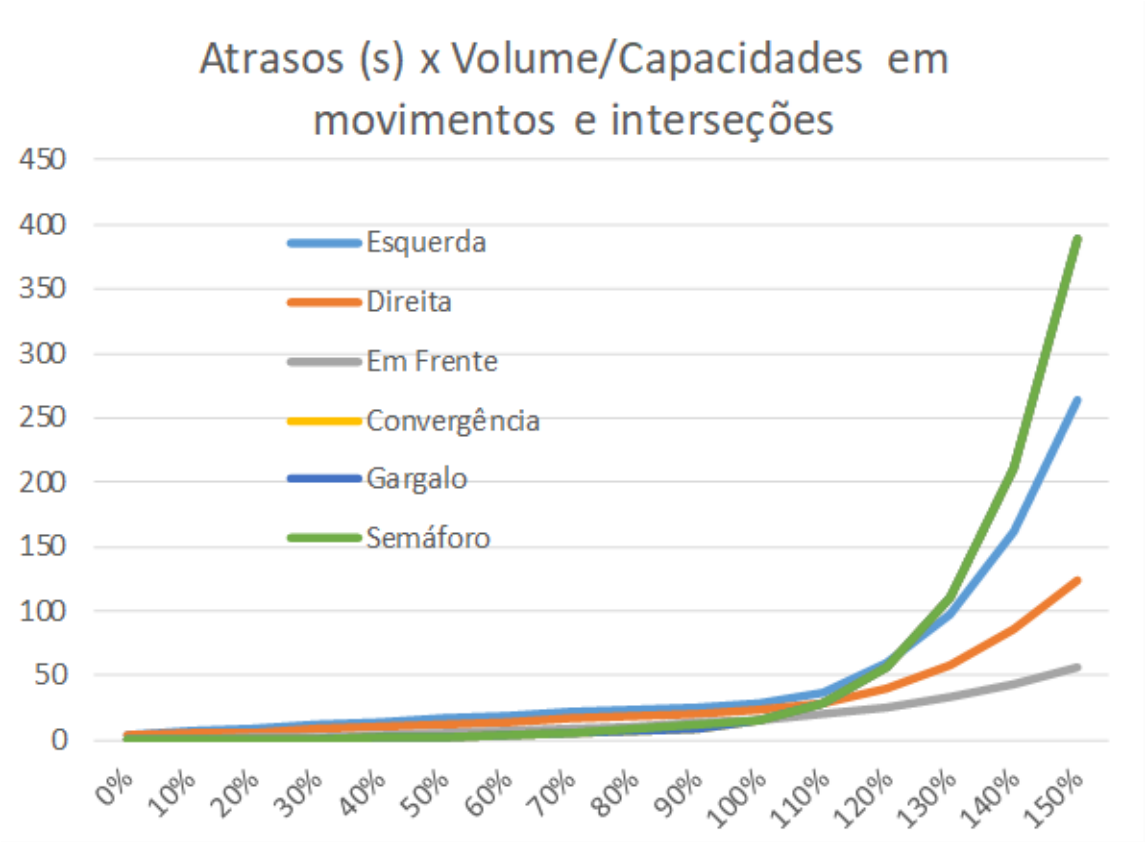


Figura 27 – Atraso x Volume/Capacidade em movimentos e cruzamentos

D.II.1.5) Impedância adicional em trechos de comunidades

Além dos parâmetros anteriormente citados, também foi considerado um fator de impedância nos trechos viários que se encontram nas proximidades de comunidades. Esse fator foi utilizado por considerar-se que os motoristas que se deslocam na rede viária estudada tendem a escolher seus trajetos de forma a evitar passar por áreas reconhecidas como inseguras ou socialmente instáveis, ainda que este trajeto possa parecer o melhor caminho em termos de custo e tempo. Para este parâmetro, empiricamente adotou-se como premissa que quanto maior a área e o número de comunidades nos arredores do trecho viário e quanto menor a velocidade de fluxo livre, menos atrativo o trecho se torna para o usuário. Para vias de fluxo ininterrupto, do tipo Estrutural 1, 2 e 3 e na Auto Estrada Grajaú-Jacarepaguá, o fator não foi considerado por apresentarem menor risco já que não existe semáforo e a velocidade é alta. Para o cálculo deste fator foi feito um mapeamento das comunidades do Rio de Janeiro. Na Figura 3, a intensidade das cores na legenda representa o quanto o trecho foi penalizado pelo fator, desde a cor cinza claro em trechos não afetados e preta em trechos mais afetados.

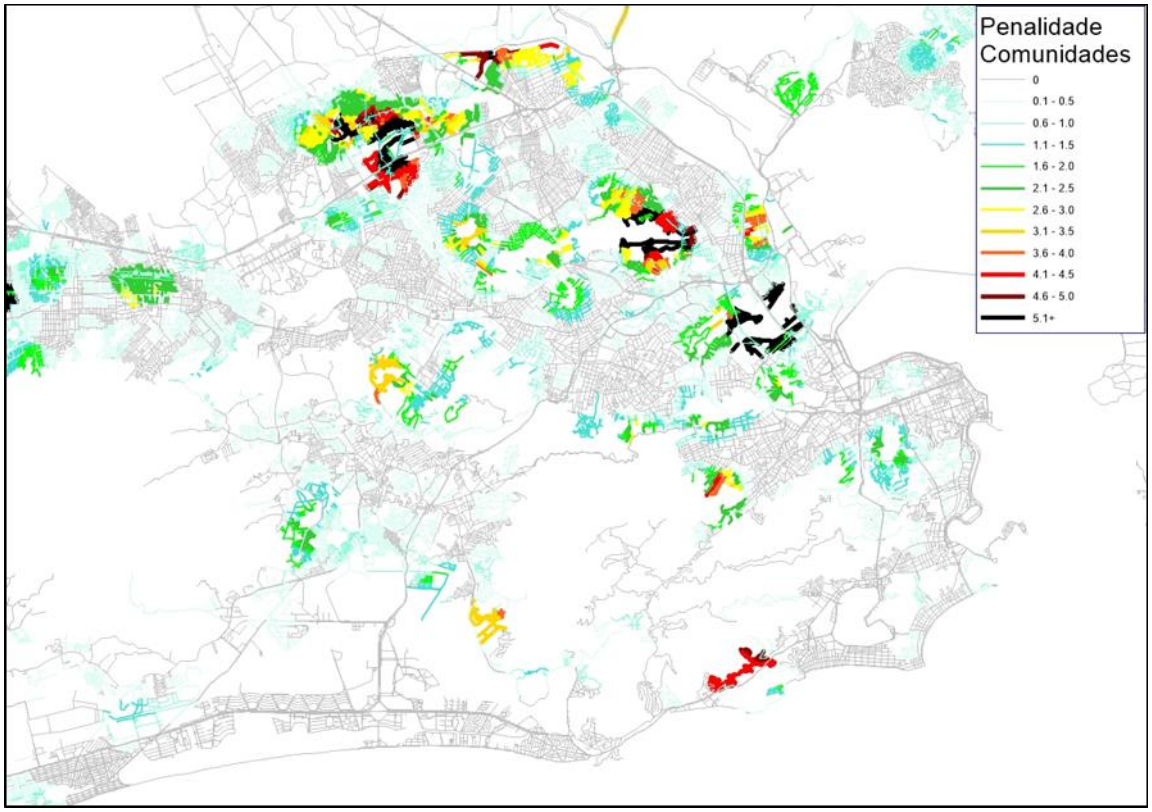


Figura 28 – Penalização adicional da rede - Comunidades do Rio de Janeiro

D.II.1.6) Modelo de escolha e parâmetros obtidos desde pesquisas de Preferência Declarada

Foram estimados parâmetros que os usuários valoram ao utilizar o sistema de transporte público na cidade do Rio de Janeiro, com a finalidade de gerar os elementos das funções de custo generalizado necessárias para a posterior modelagem de corredores de transporte público utilizando o modelo de alocação em redes.

Para tanto, foram predefinidos os atributos mínimos a serem considerados, assim como o contexto de escolha mais adequado para obter a melhor informação sobre as preferências dos usuários.

D.II.1.6.1) Identificação do Mercado Objetivo

O mercado objetivo para esta fase do estudo é composto pelos usuários do sistema de transporte público do Rio de Janeiro, que compreende os usuários de transporte público divididos em dois grupos:

1) usuários com acesso e possibilidade de viajar de automóvel e
2) usuários sem acesso ao automóvel.

D.II.1.6.2) Desenho do Experimento

Para o desenho do experimento de escolha discreta foi preparado um estudo de Preferencias Declaradas, que parte das premissas abaixo.

Para proceder com o desenho do experimento, primeiramente se definiu o contexto de escolha, que neste caso consiste na eleição entre três modos de transporte para realizar uma viagem típica. O conjunto de modos varia segundo o tipo de usuário, no caso de usuários com acesso ao automóvel, as alternativas de modo apresentadas são: automóvel, ônibus e metrô, enquanto no caso de usuários sem acesso ao automóvel, foram apresentadas as opções: ônibus, BRT e metrô.

Para representar as alternativas dos modos de transporte em cada caso, foram selecionados os atributos custo de viagem, tempo de viagem a bordo, tempo de caminhada, tempo de espera entre transferência e número de transferências.

Uma vez definidas as alternativas e seus atributos, procedeu-se a uma tarefa iterativa em que se alocam valores aos atributos e se geram os cartões de preferencias. Neste processo se aplicam as pesquisas a um grupo reduzido de usuários, se estimam modelos e em base aos resultados se realizam os ajustes respectivos buscando novos desenhos.

Os desenhos foram gerados utilizando a ferramenta Ngene (www.choicemetrics.com), que permite gerar desenhos de experimentos avançados, especializada em desenhos para modelos econométricos não lineares.

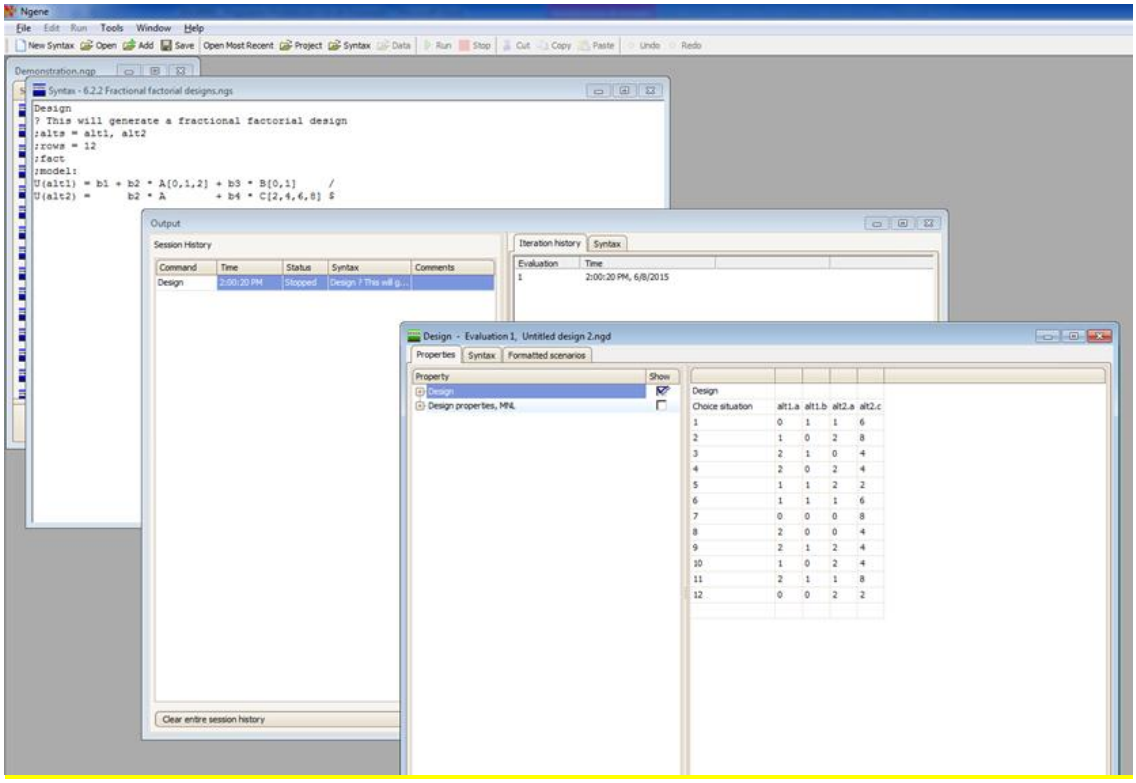


Figura 29 - Aplicação do Ngene para gerar experimentos de escolha

Para melhor definir os valores aos atributos de seleção, com enfoque de desenho de experimentos eficientes do tipo D-Ótimo, este procedimento foi realizado em 4 iterações, até obter-se o desenho final exemplificado na Figura 30 abaixo.

7	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	METRÔ
Custo da Viagem	R$12.00	R$3.60	R$4.90
Tempo TOTAL de Viagem	35min	1hr	55min
Quantas vezes troca de linha	0	1	1
Tempo de Transferência	0min	0min	15min
Tempo gasto caminhando	5min	5min	15min
Qual alternativa escolhe?	Escolho A, Automóvel	Escolho B, Ônibus	Escolho C, Metrô

Figura 30 – Cartão para aplicação da pesquisa de preferência declarada

D.II.1.6.3) Modelos de escolha e estimativa de parâmetros

A construção e calibração das funções de utilidade foram realizadas através de modelos econométricos de escolha discreta desenvolvidos com a finalidade de estimar os ponderadores e os parâmetros dos atributos nelas incluídos, os quais representam as características de interesse das alternativas disponíveis para escolha.

Para tanto, utilizou-se a informação obtida com a pesquisa de preferência declarada, na qual os usuários foram submetidos a exercícios de escolha entre alternativas. Os usuários selecionaram a alternativa que lhes proporcionava maior "utilidade" ponderando os atributos das opções disponíveis apresentadas, suas restrições orçamentárias e seus gostos pessoais.

Para esta tarefa de modelagem, foram calibrados modelos econométricos não lineares do tipo Logit. Estes modelos se baseiam na teoria da utilidade aleatória onde os indivíduos se comportam como "homo economicus" de maneira racional e selecionam sempre as alternativas que maximizam seu nível subjetivo de bem-estar.

O caso mais simples e predominante na prática deste tipo de modelo é conhecido como Logit Multinomial (MNL por sua sigla em inglês) e se representa pela seguinte equação.

$$P_{iq} = \frac{exp(V_{iq})}{\sum_j exp(V_{jq})}$$

Onde:

P_{iq} Probabilidade de que a alternativa i seja escolhida pelo indivíduo q.
V_{iq} É a componente sistemática ou representativa da utilidade ou satisfação percebida pelo indivíduo q como usuário da alternativa i.

Neste tipo de modelo se considera que o indivíduo q, em função do seu perfil sociodemográfico, tem apenas um conjunto acessível de opções para escolher uma alternativa i. A alternativa escolhida representa para ele uma utilidade/satisfação V_{iq} que é função do vetor de atributos $\boldsymbol{x}_k$ da alternativa i, que se representa como:

$$V_{iq} = \sum_k \theta_{kq} x_{ikq}$$

Que é a componente determinística da função de utilidade estocástica

$$U_{iq} = V_{iq} + u_{iq}$$

Onde:

u_{iq} é um termo de ruído branco usualmente suposto como um termo aleatório que se distribui independente e identicamente (iid Gumbel) (0, σ_u) o qual provê ao modelo a variabilidade não observada pelo analista e que, portanto, estaria excluída do modelo.

Este modelo é o mais simples de aplicar e por isso é tão popular na prática. No âmbito científico internacional é amplamente reconhecido que este tipo de modelo não é capaz de identificar alguns efeitos como correlação e heterocedasticidade entre alternativas e a variação dos gostos dos usuários ao escolher entre as alternativas analisadas, como efeitos aleatórios e não como efeitos fixos que podem ser críticos na modelagem da demanda de qualquer mercado em estudo através destas ferramentas. Apesar disso, o uso do MNL prevaleceu muitos anos motivado principalmente pela facilidade de interpretação dos resultados, a forma matemática relativamente simples e seu método de estimação e, finalmente a falta de capacidade computacional, na época, para estimar este tipo de modelos de maneira rápida e oportuna.

Trabalhou-se com modelos que permitem identificar os efeitos que o MNL omite, e a resposta corresponde a uma variante do MNL conhecida como modelo Logit Mixto (ML por sua sigla em inglês). O modelo ML é especificado igualmente pela expressão mostrada nos parágrafos prévios para P_{iq}, mas com uma variação na função de utilidade, a qual de maneira geral pode ser escrita como[1]:

$$U_{iq} = V_{iq} + \omega_{ikq} y_{ikq} + u_{iq}$$

Ou bem,

$$U_{iq} = \sum_k \theta_{kq} x_{ikq} + \sum_k \omega_{kq} y_{ikq} + u_{iq}$$

Onde:

$V_{iq} = \sum_k \theta_{kq} x_{ikq}$ é como antes no caso do MNL.
ω_{kq} é o k-ésimo elemento estocástico correspondente ao usuário q, de maneira geral pode assumir qualquer distribuição definida pelo analista, mas com média 0 e variância desconhecida por ser estimada.

[1] Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L. G. (2011). Modelling Transport. Wiley and sons, Chichester

y_{ikq} é um atributo com valor e natureza desconhecida que normalmente é assumido como 1, porém, este elemento pode assumir valores definidos pelo analista que permitam representar estruturas de correlação mais complexas se assim se desejar.

Uma vez definida a especificação do modelo a utilizar se procede com o método de estimação numérica dos parâmetros desejados, no caso dos modelos MNL, este tipo de modelos, se calibra por Máxima Verossimilhança (MV), para o qual se utilizam linguagens de programação como R, Gauss, MatLab, etc. ou pacotes computacionais como NLogit[2], Biogeme[3], etc. No caso dos modelos ML, dada a forma não fechada da sua expressão por considerar dentro da função de utilidade os parâmetros aleatórios, é necessário aplicar una variante do método MV pelo método de Máxima Verossimilhança Simulada (MVS).

Para este caso se utilizou o Biogeme pela sua versatilidade e capacidade de aplicar estes métodos para os modelos ML. De fato, hoje em dia se encontra disponível a versão do Biogeme 2.3 que permite a estimativa deste tipo de modelo e especificações mais complexas que o MNL.

Esta versão inclui dois executáveis: Bison y Pythonbiogeme, com os quais é possível estimar modelos ML muito mais rapidamente que com a versão tradicional, isto permite provar mais formatos possíveis de modelos tipo ML.

Dada esta disponibilidade, foram calibradas versões de modelos ML combinando parâmetros aleatórios e fixos, neste caso, se selecionou uma especificação de função de utilidade considerando a proposta justificada em Yánez et al (2010)[4] como se mostra para o caso dos usuários sem acesso ao automóvel na expressão:

$$\boldsymbol{V_{iq} = \theta_{0i} + \theta_{tvi} * TV_i + \theta_{tc} * TC_i + \theta_{tt} * TT_i + \theta_{nt} * NT_i + \theta_{cvi} * CV_i + \sigma_q}$$

Onde:

θ_{0i} é a constante específica da alternativa i
θ_{tvi} é o estimador do parâmetro específico da alternativa i que pondera o Tempo de Viagem correspondente à alternativa i. Neste caso se considera este estimador como aleatório com distribuição normal.

[2] Hensher, D., Rose, J., y Greene, H. (2005). Applied choice analysis: A primer. Cambridge University Press. Cambridge
[3] Bierlaire, M. (2003). BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models. Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference, Ascona, Switzerland.
[4] Yáñez, M. F., Cherchi, E., Heydecker B. y Ortúzar, J. de D. (2010). On the Treatment of Repeated Observations in Panel Data: Efficiency of Mixed Logit Parameter. Springer.

θ_{tt} é o estimador do parâmetro que pondera o Tempo de Transferência médio à alternativa i
θ_{nt} é o estimador do parâmetro que pondera o Número de Transferências à alternativa i
θ_{cv} é o estimador fixo do parâmetro que pondera o Custo de Viagem correspondente à alternativa i
σ_q é o estimador de efeito painel

No caso de usuários com acesso ao automóvel, calibrou-se uma função de utilidade onde o ponderador do tempo de viagem a bordo é uma variável aleatória normal que interage com o tempo de viagem, identificando usuários deste segmento que foram entrevistados no automóvel ou no transporte público.

$$\boldsymbol{V_{iq} = \theta_{0i} + (\theta_{tvi0} + \theta_{tvi1}) * TV_i + \theta_{tc} * TC_i + \theta_{tt} * TT_i + \theta_{nt} * NT_i + \theta_{cvi} * CV_i}$$

Onde:

θ_{0i} é a constante específica da alternativa i
θ_{tvi0} é o estimador do parâmetro específico da alternativa i correspondente a usuários entrevistados no automóvel que pondera o Tempo de Viagem correspondente à alternativa i. Neste caso se considerou este estimador como aleatório com distribuição normal.
θ_{tvi1} é o estimador do parâmetro específico da alternativa i correspondente à utilidade marginal dos usuários entrevistados no transporte público que pondera o Tempo de Viagem correspondente à alternativa i. Se trata também de um estimador aleatório com distribuição normal.
θ_{tt} é o estimador do parâmetro que pondera o Tempo de Transferência Médio à alternativa i
θ_{nt} é o estimador del parámetro que pondera el número de transferencias à alternativa i
θ_{cv} é o estimador fixo do parâmetro que pondera o Custo de Viagem correspondente à alternativa i
σ_q é o estimador de efeito painel

As tabelas a seguir apresentam um resumo dos modelos calibrados, com seus respectivos estimadores e tests-t.

Tabela 9 - Modelos para usuários sem acesso a automóvel.

Name	Value	Std err	t-test	p-value
ASC2	1.49	0.209	7.12	0

ASC3	2.23	0.235	9.48	0
Bcv	-0.22	0.0879	-2.5	0.01
Bnt	-1.57	0.214	-7.36	0
Btc	-0.0452	0.00441	-10.25	0
Btt	-0.0447	0.00841	-5.31	0
Btv1	-0.0467	0.00665	-7.03	0
Btv1_s	0.0364	0.00459	7.91	0
Btv2	-0.0468	0.00665	-7.05	0
Btv2_s	-0.0094	0.00729	-1.29	0.2
Btv3	-0.0522	0.00905	-5.78	0
Btv3_s	-0.00332	0.0053	-0.63	0.53
SIGMA	2.96	0.214	13.82	0
ZERO	0	fixed		
fact	0	fixed		
fact_s	1	1.80e+308	0	1

Onde:

ASC2: Constante especifica da alternativa 2
ASC3: Constante especifica da alternativa 3
Bcv: Estimador do custo de viagem
Btv1: Valor esperado C 1
Btv2: Valor esperado do estimador do tempo de viagem especifico da alternativa 2
Btv3: Valor esperado do estimador do tempo de viagem especifico da alternativa 3
Btv1_s: Desvio padrão do estimador do tempo de viagem especifico da alternativa Btv2_s: Desvio padrão do estimador do tempo de viagem especifico da alternativa 2
Btv3_s: Desvio padrão do estimador do tempo de viagem especifico da alternativa 3
Btc: Estimador do tempo de caminhada
Bnt: Estimador do número de transferências
Bnt: Estimador do tempo médio de transferência
SIGMA: Efeito painel representado por um estimador com distribuição normal com média zero e variância desconhecida
fact_s: desvio padrão do fator de correlação entre alternativas que distribuem normal com média zero.

Como se pode observar na tabela acima, todos os sinais são os esperados, e quanto à significância estatística, os únicos estimadores comprometidos são os desvios padrão que, em todo o caso, poderiam ser estatisticamente próximos a zero, por não serem considerados na estimativa dos VOTs, já que somente se utilizam neste caso os valores esperados, e assim, não existe efeito algum. Quanto aos demais valores, todos são estatisticamente significativos, acima dos 95% de nível de confiança.

Desta função de utilidade aplicando o conceito de taxa marginal de substituição,

$VOT = \frac{\partial V_{iq}}{\partial TV_i} \Big/ \frac{\partial V_{iq}}{\partial CV_i}$; se obtêm os seguintes valores do tempo (VOT) para os modos de Transporte Público:

Tabela 10 – Valores do tempo VOT para os modos de Transporte Público

Alternativa	VOT(R$/min)
Alt1 (ônibus)	0.21227273
Alt2 (BRT)	0.21272727
Alt3 (Metro)	0.23727273

No caso dos usuários com acesso ao automóvel, tanto para aqueles entrevistados no seu automóvel como os entrevistados no transporte público, se obtiveram os resultados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Modelos para usuários com acesso ao automóvel.

Name	Value	Std err	t-test	p-value
ASC2	-2.26	0.588	-3.84	0
ASC3	-0.373	0.554	-0.67	0.5
Bcv	-0.168	0.0952	-1.77	0.08
Bnt	-0.246	0.176	-1.4	0.16
Btc	-0.029	0.0151	-1.92	0.05
Btt	-0.0877	0.0315	-2.78	0.01
Btv01	-0.0337	0.0265	-1.27	0.2
Btv01_s	0.00964	0.0162	0.59	0.55
Btv02	-0.0263	0.0189	-1.4	0.16
Btv02_s	0.0347	0.00781	4.44	0
Btv03	-0.00456	0.0371	-0.12	0.9
Btv03_s	0.000182	0.0237	0.01	0.99
Btv1	-0.0293	0.0151	-1.94	0.05
Btv1_s	0.00198	0.0169	0.12	0.91

Btv2	-0.0291	0.0151	-1.93	0.05
Btv2_s	0.0184	0.0157	1.17	0.24
Btv3	-0.0292	0.0151	-1.94	0.05
Btv3_s	-0.0111	0.0346	-0.32	0.75
SIGMA	-5.2	0.676	-7.68	0
ZERO	0	fixed		
fact	0	fixed		
fact_s	-0.916	0.41	-2.23	0.03

Onde:

ASC2: Constante especifica da alternativa 2
ASC3: Constante especifica da alternativa 3
Bcv: Estimador do custo de viagem
Btv01: Valor esperado do estimador do tempo de viagem específico da alternativa 1 para usuários entrevistados no transporte público
Btv02: Valor esperado do estimador do tempo de viagem específico da alternativa 2 para usuários entrevistados no transporte público
Btv03: Valor esperado do estimador do tempo de viagem especifico da alternativa 3 para usuários entrevistados no transporte público
Btv01_s: Desvio padrão do estimador de tempo de viagem especifico da alternativa 1 para usuários entrevistados no transporte público
Btv02_s: Desvio padrão do estimador do tempo de viagem específico da alternativa 2 para usuários entrevistados no transporte público
Btv03_s: Desvio padrão do estimador do tempo de viagem especifico da alternativa 3 para usuários entrevistados no transporte público
Btv1: Valor esperado do estimador do tempo de viagem específico da alternativa 1 correspondente à utilidade marginal de usuários entrevistados no automóvel
Btv2: Valor esperado do estimador do tempo de viagem específico da alternativa 2, correspondente à utilidade marginal de usuários entrevistados no automóvel
Btv3: Valor esperado do estimador do tempo de viagem específico da alternativa 3, correspondente à utilidade marginal dos usuários entrevistados no automóvel
Btv1_s: Desvio padrão do estimador do tempo de viagem específico da alternativa 1 correspondente à utilidade marginal dos usuários entrevistados no automóvel
Btv2_s: Desvio padrão do estimador do tempo de viagem específico da alternativa 2, correspondente à utilidade marginal dos usuários entrevistados no automóvel

Btv3_s: Desvio padrão do estimador do tempo de viagem específico da alternativa 3, correspondente à utilidade marginal dos usuários entrevistados no automóvel
Btc: Estimador do tempo de caminhada
Bnt: Estimador do número de transferências
Bnt: Estimador do tempo médio de transferência
SIGMA: Efeito painel representado por um estimador com distribuição normal com média zero e variância desconhecida
fact_s: desvio padrão do fator de correlação entre alternativas que distribuem normal com média zero.

Neste caso, como se pode observar na tabela acima, todos os sinais são conforme o esperado, e quanto a significância estatística os estimadores mais comprometidos, como no caso dos usuários sem acesso ao automóvel, também são os desvios padrão, que em todo o caso podem ser estatisticamente próximos a zero, por não serem considerados na estimativa dos VOTs, já que apenas se utilizam neste caso os valores esperados, e assim, não existe efeito algum. Quanto aos demais valores, todos são estatisticamente significativos, acima dos 90% de nível de confiança com exceção de Bnt, Btv01 y Btv02 que são significativos acima de 84% de nível de confiança.

Com estes resultados se obtiveram os seguintes VOTs:

Tabela 12 – Valores do Tempo VOT para usuários com acesso a automóvel

Grupo	Alternativa	VOT (R$/min)
En Auto	Alt1 (auto)	0.375000000
En Auto	Alt2 (ómnibus)	0.329761905
En Auto	Alt3 (metro)	0.200952381
En TP	Alt1 (auto)	0.200595238
En TP	Alt2 (ómnibus)	0.156547619
En TP	Alt3 (metro)	0.027142857

D.II.1.7) Construção das matrizes de viagens e calibração do cenário atual

D.II.1.7.1) Construção das matrizes de viagens de Transporte Privado

Foi utilizada uma matriz semente construída a partir da matriz de viagens de automóveis do PDTU da RMRJ para a hora pico da manhã e da tarde, atualizada com dados volumétricos de tráfego veicular extraídos de fiscalizadores eletrônicos, num total de 183 seções (Figura 31).

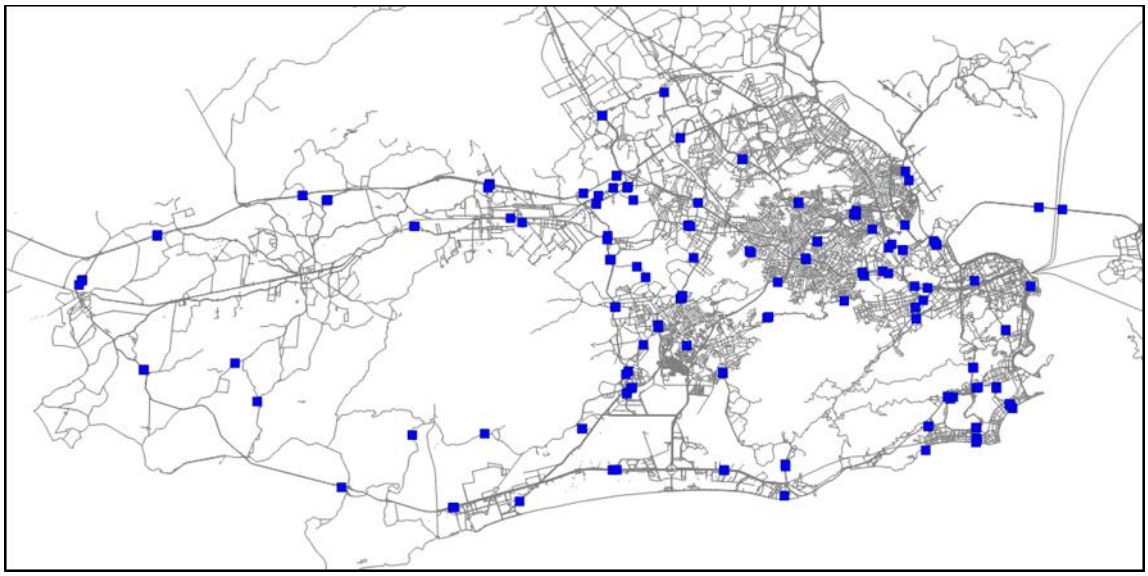


Figura 31 – Localização dos pontos de contagem utilizados para calibração das matrizes de viagens

Este procedimento foi feito com o uso de uma rotina de ajuste inteligente denominada TFlowFuzzy, interna ao software PTV-Visum, durante o qual as matrizes são ajustadas respeitando limites de variação de até 50% na geração de viagens para cada zona a partir da matriz de sementes e de até 30% na distribuição de viagens por distância do mesmo. Isto foi feito para evitar distorções na geração de viagens de cada zona e no perfil de deslocamento da demanda de transporte da cidade (Figura 32).

O procedimento foi feito buscando-se o menor número possível de iterações para que se mantivesse a estrutura da matriz semente e a consistência do modelo, levando em consideração a atenuação de pares com muitas variações em cada iteração e considerando que existem valores baixos para as contagens em áreas de alto congestionamento.

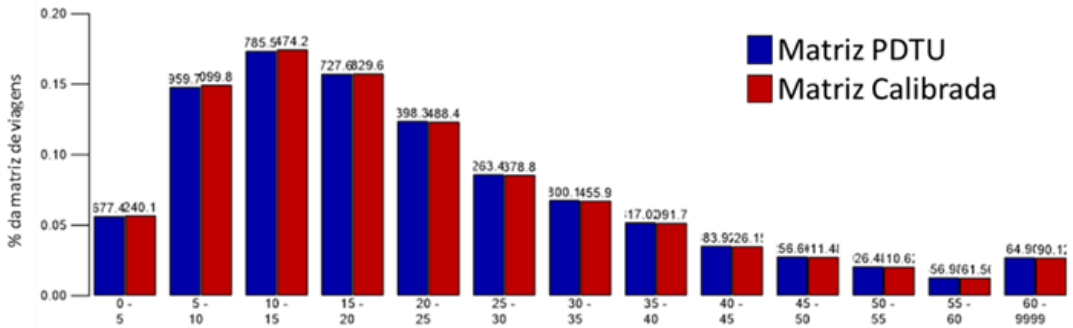


Figura 32 – Perfil de deslocamento (km) das matrizes PDTU e calibradas

Na Figura 33 são apresentadas as dispersões de pontos de volumes medidos versus os volumes modelados na hora de pico. Para calibrar os tempos de viagem do modelo de forma a representar os tempos observados na realidade, foram utilizados os tempos de viagem típicos do GoogleMaps em 29 trajetos da malha viária (Tabela 13 e Figura 34). Após cada rodada de calibração dos volumes de tráfego, os tempos de viagem observados foram comparados com os tempos de viagem do modelo.

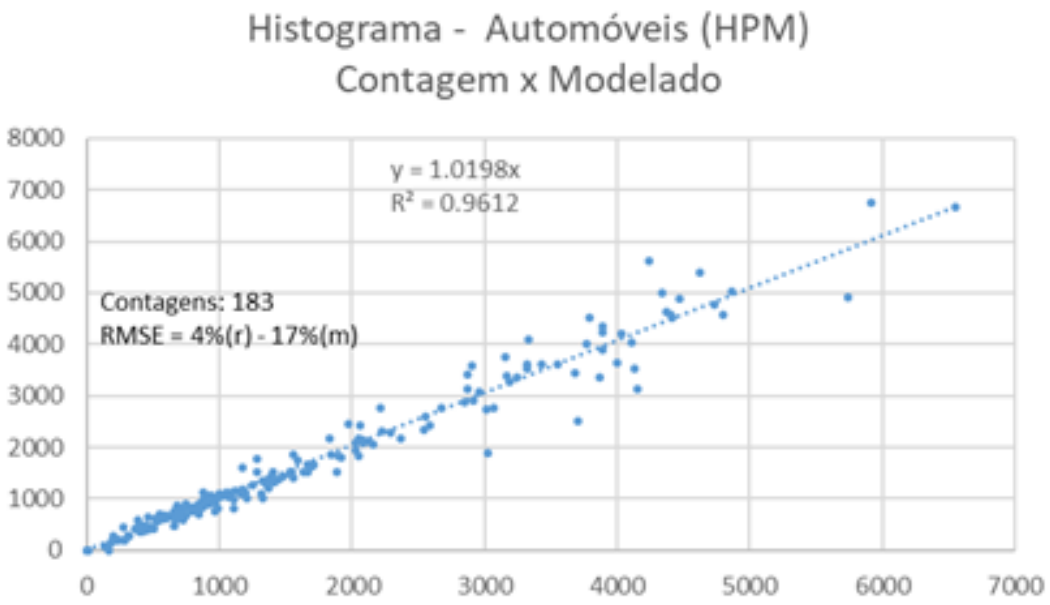


Figura 33 – Volumes alocados X volumes medidos, automóveis (fiscalizadores eletrônicos, pontos de pesquisa do estudo e outras fontes)

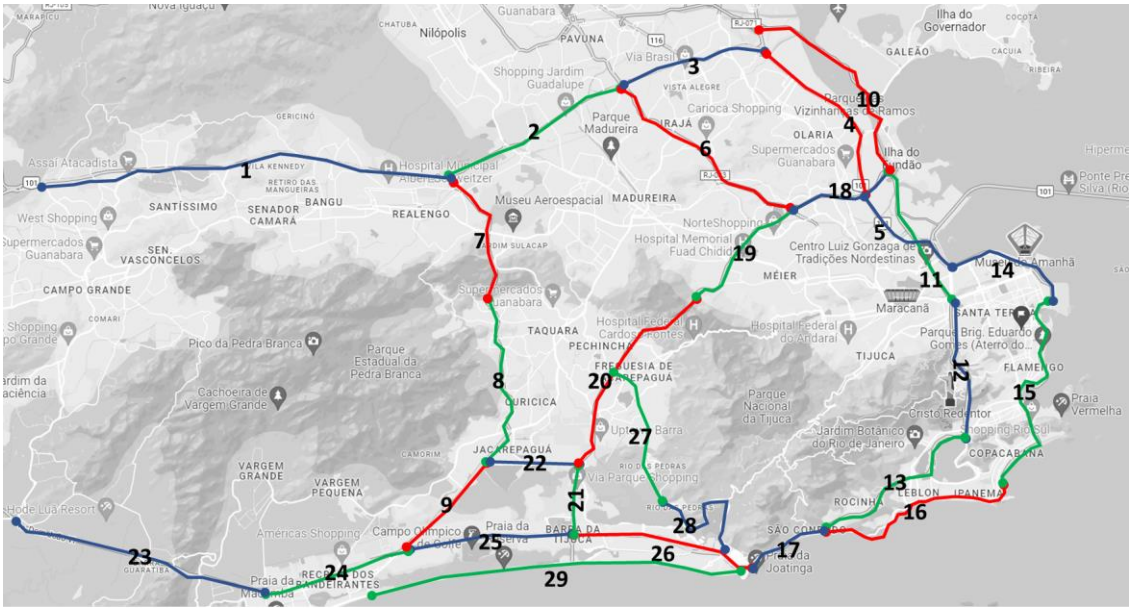


Figura 34 – Trechos selecionados para coleta de tempos de viagem típicos do Google Maps

Tabela 13 – Tempos de Viagem típicos por trecho, Fonte: GoogleMaps

Hora Pico	Manhã (08:00)				Hora Pico	Manhã (08:00)			
Sentido	Leste		Oeste		Sentido	Sul		Norte	
Trecho	Min	Max	Min	Max	Trecho	Min	Max	Min	Max
1	14	24	12	18	7	6	14	5	8
2	12	24	12	20	8	8	18	6	9
3	7	16	5	9	9	6	12	5	8
4	14	28	6	8	**7 a 9**	**20**	**44**	**16**	**25**
5	9	20	5	6	10	12	35	7	9
1 a 5	**56**	**112**	**40**	**61**	11	14	28	6	9
6	**20**	**45**	**12**	**24**	12	8	14	6	10
22	**6**	**18**	**7**	**12**	13	9	20	16	40
23	12	24	9	16	**10 a 13**	**43**	**97**	**35**	**68**
24	7	18	6	16	14	5	8	5	7
25	8	18	7	14	15	16	40	12	22
26	9	20	7	14	16	14	35	16	40
23 a 26	**36**	**80**	**29**	**60**	17	4	4	4	6
29	**22**	**40**	**20**	**40**	**14 a 17**	**39**	**87**	**37**	**75**
					18	8	18	6	16
					19	8	14	7	22
					20	10	18	7	12
					21	4	4	3	3
					18 a 21	**30**	**54**	**23**	**53**
					27	12	35	16	40
					28	14	35	12	24
					27 e 28	**26**	**70**	**28**	**64**

Na Figura 35 são apresentadas as curvas isócronas resultantes do modelo calibrado, a partir de pontos relevantes da rede para este estudo, em sequência: 1 – Gardênia Azul; 2 – Recreio; 3 – Jardim Oceânico e; 4 – São Cristóvão. Essas curvas representam, em cada cor do gradiente, as áreas da

rede viária até onde se demora o mesmo tempo para chegar a partir de um ponto central de partida. Através deles, o modelo de simulação pode ser validado frente ao comportamento de tráfego da realidade comparando-se os tempos modelados com tempos de viagem conhecidos.

A Figura 36 ilustra as matrizes OD do modelo calibrado, nela podemos observar a intensidade de produção e atração de viagens das zonas de tráfego bem como a densidade de viagens totais por área das mesmas.

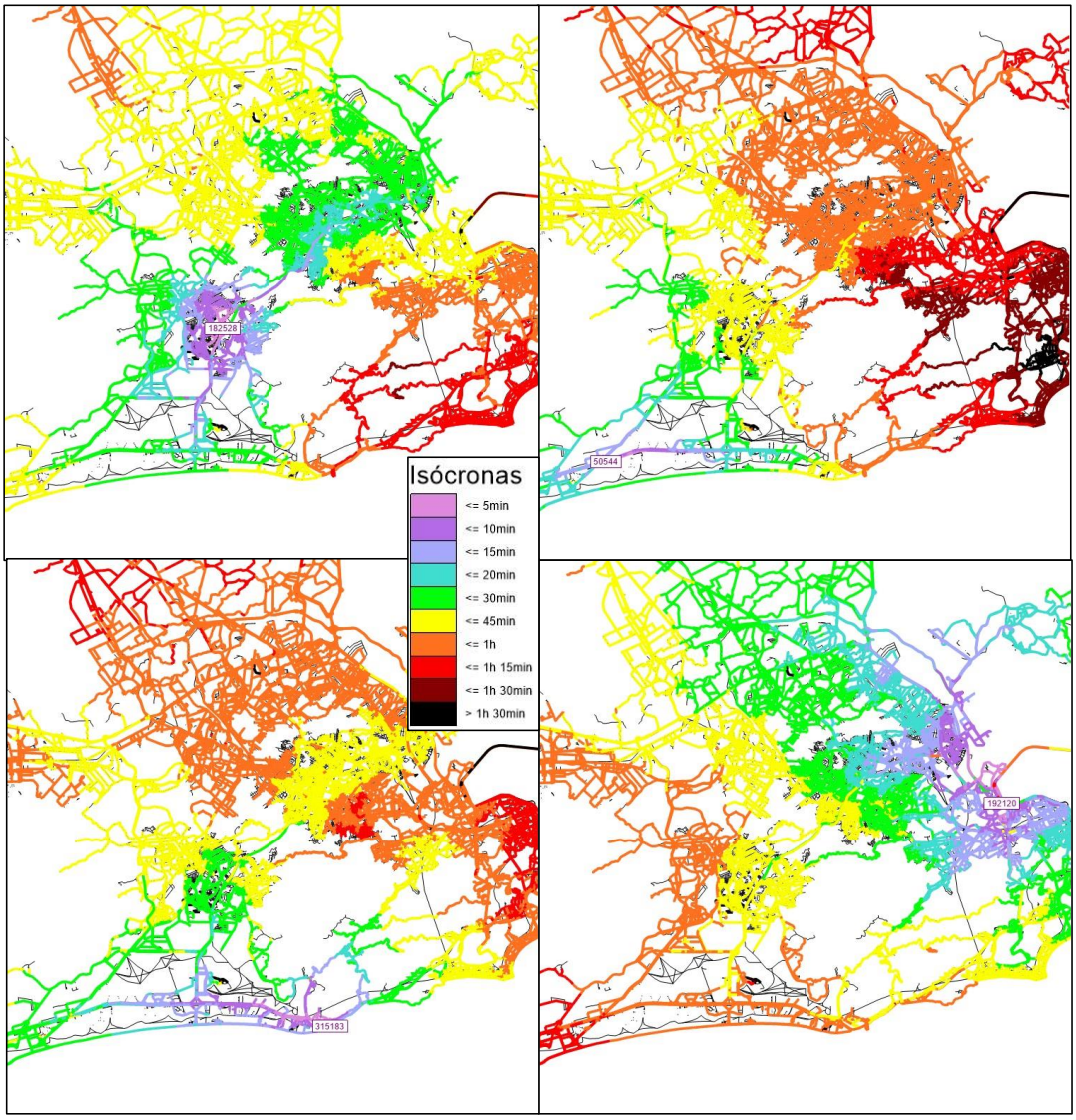


Figura 35 – Isócronas para o cenário atual, pico da manhã. Pechincha (1), Salvador Allende X Av. das Américas (2), Túnel do Joá (3), Caju (4)

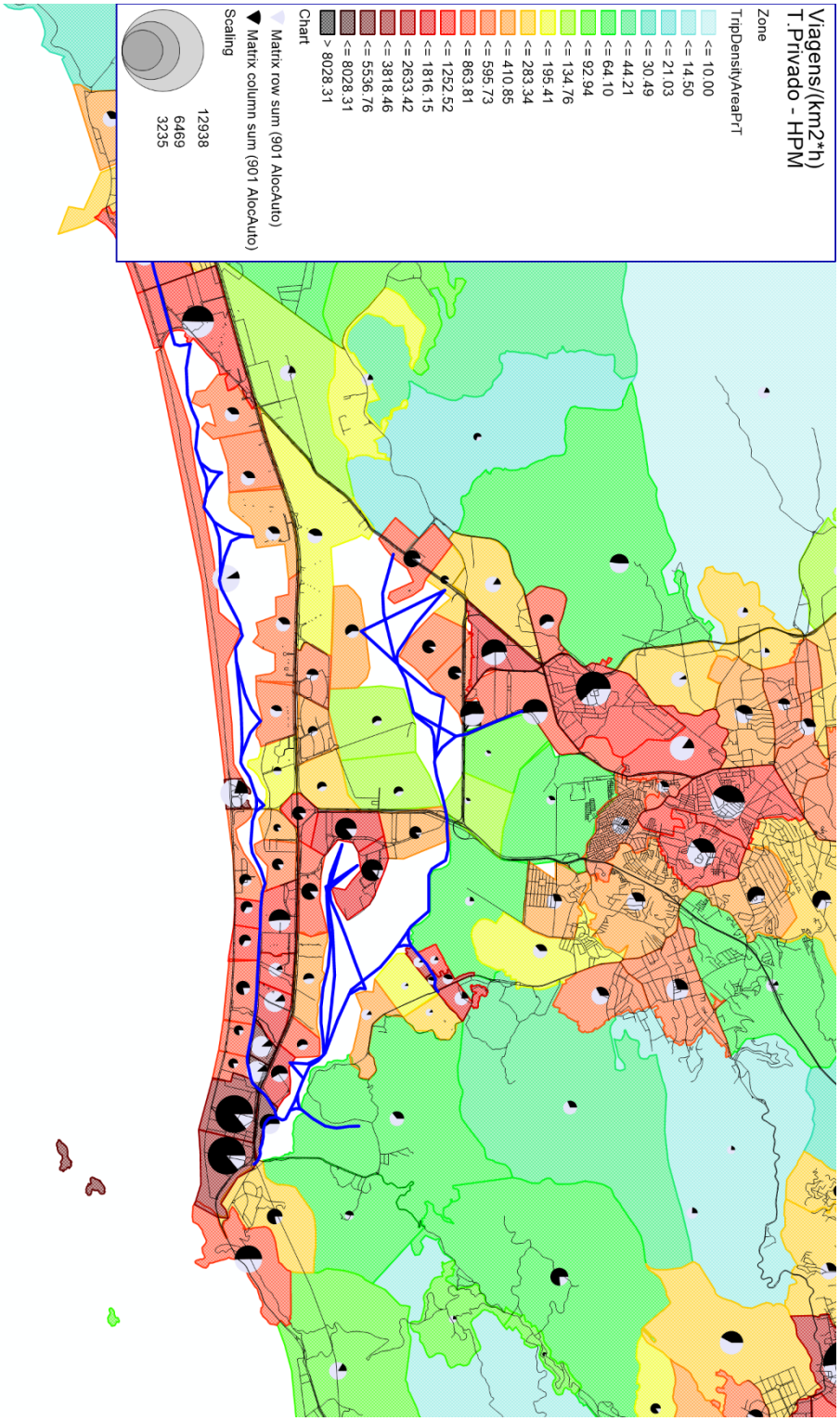


Figura 36 - Geração de viagens e viagens/km2 da matriz final calibrada do modelo para a hora pico da manhã

D.II.1.7.2) Construção das matrizes de viagens de Transporte Público

Para as matrizes de viagens de passageiros também se partiu da matriz semente obtida desde a última versão do PDTU, que foi dividida entre a matriz de demanda SAA (Sem Acesso a Automóvel) e matriz de demanda CAA (Com Acesso a Automóvel) de acordo com a proporção, em cada zona de tráfego, entre a parcela da população com renda mensal maior que 3 salários mínimos e a parcela com renda igual ou menor a essa quantia, informação essa que foi extraída do Censo 2010.

Considerando que a maior parte da matriz OD da hora de pico é composta por pares casa-trabalho, cada par OD da matriz da hora pico teve seu número de viagens dividido de acordo com a porcentagem de pessoas com renda maior que 3 salários-mínimos na zona de origem.

Com base nos resultados da pesquisa de preferência declarada foram utilizados para os segmentos SAA e CAA os seguintes parâmetros de impedância para alocação Timetable-Based no VISUM apresentados na Figura 37.

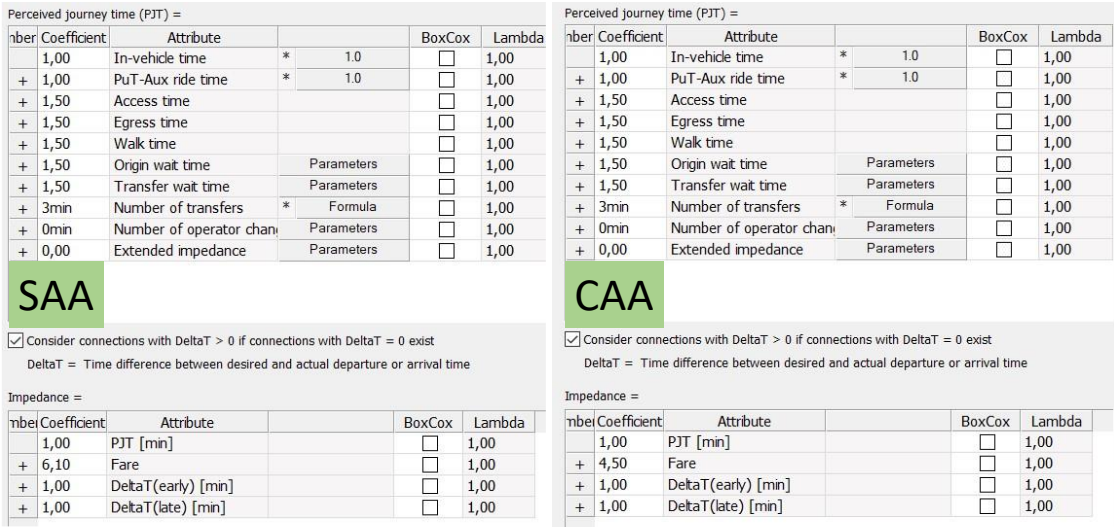


Figura 37 – Ponderadores de impedância para cálculo de Perceived Journey Time (PJT, custo generalizado) na alocação de transporte Público

Uma vez feito isto se adicionaram por substituição as matrizes obtidas a partir das bases de dado de celular, nesse processo foram incluídos todos os pares com origem ou destino na área de influência do estudo.

As Matrizes Origem Destino para as viagens na área de influência do estudo foram obtidas através de uma plataforma que permite conhecer os padrões e os volumes de fluxo de pessoas que se deslocam em uma determinada região em um determinado intervalo de tempo.

A origem da informação disponibilizada advém de dados coletados pelas operadoras de telefonia móvel nos dias 01/06/2022 e 08/06/2022 (duas quartas-feiras) e 04/06/2022 (um sábado), que são fonte de informação confiável para a inferência da mobilidade humana, uma vez que as amostras obtidas são altamente representativas, tanto em relação à quantidade total de população, quanto ao número de eventos obtidos para cada usuário por dia. Nos dados oriundos das redes de telefonia móvel são aplicadas técnicas de big data, e algoritmos de machine learning são utilizados para reconstruir as trajetórias dos usuários.

A tecnologia desenvolvida pela empresa Kido Dynamics para a análise de metadados de mobilidade está baseada na patente da União Europeia com número de série 18 202 716.9. O processo de caracterização da mobilidade em um âmbito geográfico se dá, de forma resumida, através das fases descritas a seguir.

D.II.1.7.2.a) Filtros e testes de coerência dos dados brutos

Os dados brutos obtidos através das operadoras de telefonia móvel podem conter erros tanto de formato como de conteúdo. O sistema utilizado para produzir as matrizes deste estudo é autônomo e através dele foram automatizados muitos processos de validação e filtragem. A rede de telefonia não foi concebida como um detector de mobilidade humana e, por isso, os dados que recolhe não são otimizados a este fim.

Efetivamente, existe muita informação redundante por um lado enquanto existem grandes descontinuidades por outro. Os filtros garantem que restem somente registros realmente relevantes para a caracterização da mobilidade. Depois da aplicação destes filtros o tamanho da base de dados se reduz, em número de eventos, a aproximadamente 20% da original, entretanto contém 100% de informação relevante para a caracterização da mobilidade. Em outras palavras, o sistema seleciona apenas os dados de usuários que se moveram no período de captura e análise.

D.II.1.7.2.b) Georreferenciamento

D.II.1.7.2.b.1) Malha de resolução espacial da tecnologia da Kido Dynamics

Foi utilizado um modelo de distribuição espacial para todo o território nacional em coerência com a demografia e a estrutura da rede móvel. A atividade humana não é homogênea no espaço e tende a acumular-se em pontos de interesse enquanto, por outro lado, exibe grandes áreas de pouca densidade. Qualquer malha de estrutura regular fracassará em sua função de suporte para

a medição da mobilidade humana, pois falhará em dar a resolução necessária nos pontos de maior densidade, ou será redundante nas áreas de menor densidade.

Para isso foi utilizada uma malha gerada de maneira processual que é universal e não depende das operadoras que fornecem os dados, permitindo-se obter medidas comparáveis entre si em localizações diferentes ou agregar dados de mobilidade de distintas fontes para uma mesma localização (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A resolução e nível de detalhe dessa malha depende da concentração de antenas de celular no território.

D.II.1.7.2.c) Reconstrução da sequência temporal de eventos

As comunicações registradas pela rede móvel não estão associadas à posição GPS (e sim às posições das antenas da rede), nem permitem obter um rastreamento dos deslocamentos de forma contínua no tempo. As séries temporais de eventos por dispositivo mostram saltos entre antenas em ocasiões de até várias horas e até vários quilômetros.

Nesse sentido, para dispor de uma visão completa da mobilidade é utilizado um procedimento de reconstrução de trajetórias baseado nos resultados de pesquisas realizadas no campo da socio física: se assume que a atividade demográfica humana responde ao princípio da máxima entropia.

A aplicação disto em estudos de mobilidade indica que a distribuição mais provável para a trajetória de um usuário é aquela que maximiza a entropia usando como condicionante as observações definidas pelos dados da operadora móvel.

Figura 38 – Detalhamento de zonas disponibilizado pelo sistema de dados de mobilidade de celular

D.II.1.7.2.d) Classificação de eventos pela mobilidade

Uma vez completa a sequência temporal de eventos por usuário, se agrupam as subsequências em paradas, micro trajetos e trajetos em função de suas características cinemáticas. A seguir estão detalhadas as definições de cada um dos conceitos abordados:

- Trajeto: Uma sequência de eventos corresponde a um trajeto se o dispositivo percorreu ao menos 5 km no intervalo da última hora. Este parâmetro indica que tal deslocamento tenha sido realizado em um veículo motorizado.
- Micro trajeto: Uma sequência de eventos corresponde a um micro trajeto caso tenha sido produzido um deslocamento, mas inferior à condição de trajeto do item anterior.
- Parada: Uma parada é uma sequência de eventos onde não se produziu deslocamento algum segundo as definições anteriores.

D.II.1.7.3) Geração das matrizes origem destino a partir de metadados de telefonia celular

Considerando o zoneamento que foi estipulado, é possível extrair matrizes com origem em uma ou mais zonas específicas para um ou mais destinos específicos, ou gerar uma matriz completa de todas as origens para todos os destinos.

Depois da inserção das matrizes de pesquisa OD provenientes das bases de dados de celular, as matrizes resultantes foram calibradas com uso da rotina TflowFuzzy usada também para as matrizes de transporte privado. Para isso foram utilizados os volumes de passageiros medidos na cidade anteriormente em 2018 e atualizados para 2022 com o uso de dados de volumes de passageiros dos históricos dos consórcios de ônibus do Rio de Janeiro. Através desses dados se observou que o volume anual de passageiros de todos os consórcios de transporte coletivo por ônibus que operam na RMRJ caiu em 2022 para 57% do valor de 2018, enquanto o Consórcio Transcarioca, responsável por atender principalmente a área de influência do estudo sofreu uma queda no seu volume de passageiros para o ano de 2022 para 74% do valor de 2018. Dessa forma, para a calibração deste modelo, todos volumes de passageiros medidos na malha da RMRJ em 2018 foram reduzidos para 57% dos seus valores, exceto os pontos localizados dentro da área de influência do estudo que foram reduzidos para 74% dos seus valores.

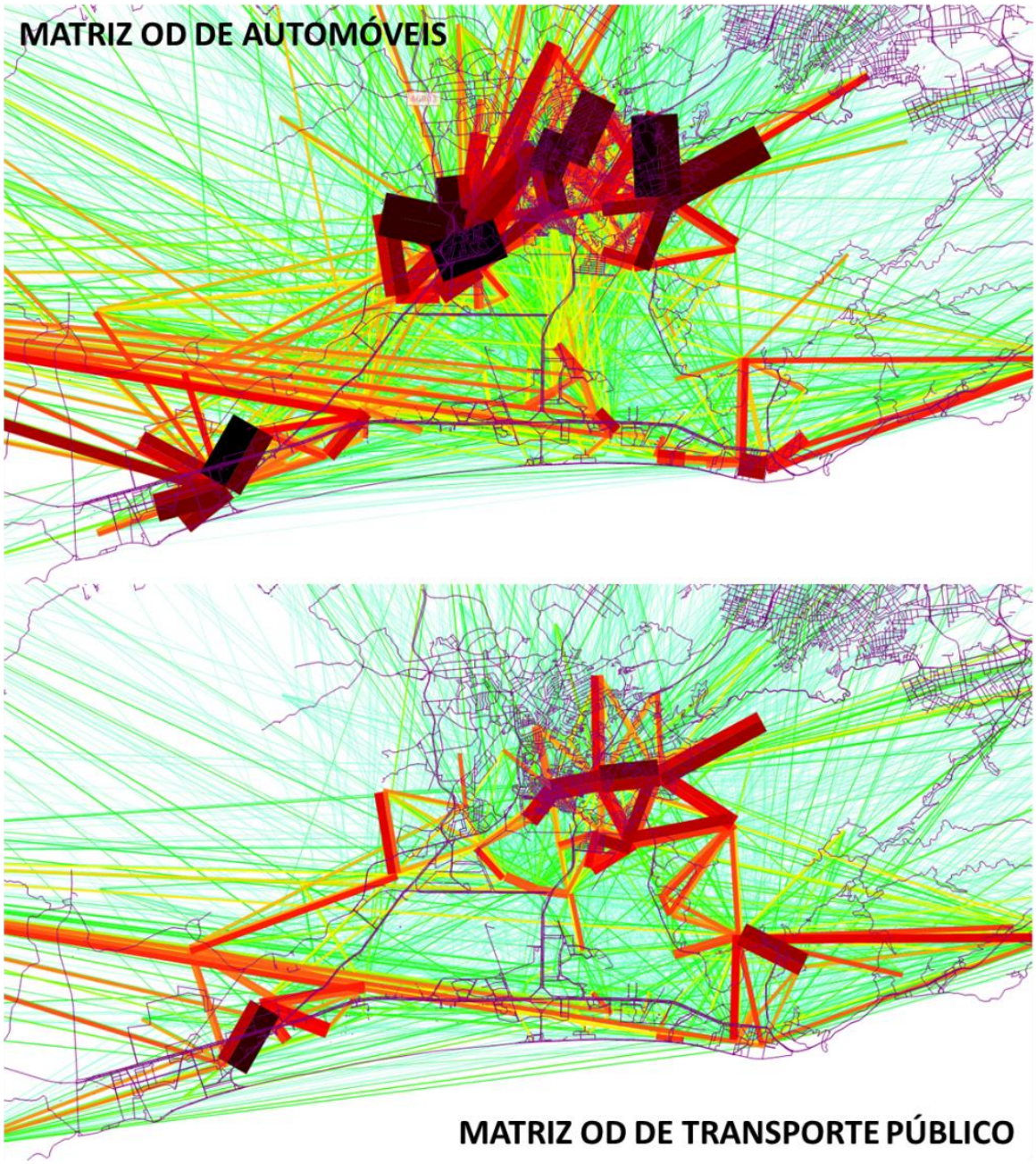


Figura 39 – Matrizes OD obtidas para o modelo de transportes multimodal deste estudo

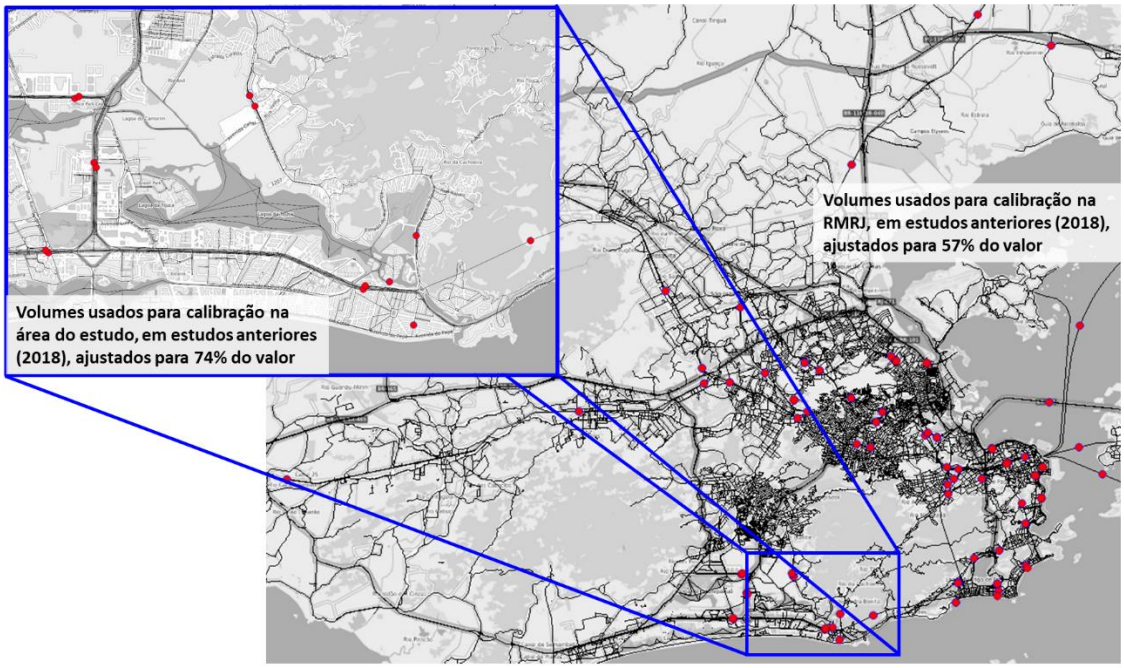


Figura 40 – Pontos utilizados para a calibração dos volumes de passageiros no transporte público

Neste procedimento, as matrizes foram ajustadas respeitando-se a distribuição de viagens por distância da matriz semente e restringindo alterações na geração de viagens em cada zona, isso foi feito para evitar distorções no padrão das viagens da cidade quanto à geração de viagens em cada zona e no perfil de deslocamento pela cidade. Também foram atenuadas as variações em pares OD que cresceram excessivamente durante a calibração e foram avaliados com maior detalhe os volumes aferidos em trechos com fortes congestionamentos.

Na Figura 43 são apresentados os histogramas de volumes alocados e os volumes utilizados para calibrar o modelo. Na Figura 42 se apresentam os histogramas de distribuição de distância das viagens das matrizes semente e das matrizes finais obtidas do processo de calibração. Pode-se observar que cerca 55% das viagens têm menos de 25km, com um perfil de viagens mais longas que o observado no tráfego privado que tem apresenta porcentagem semelhante de viagens abaixo dos 20km.

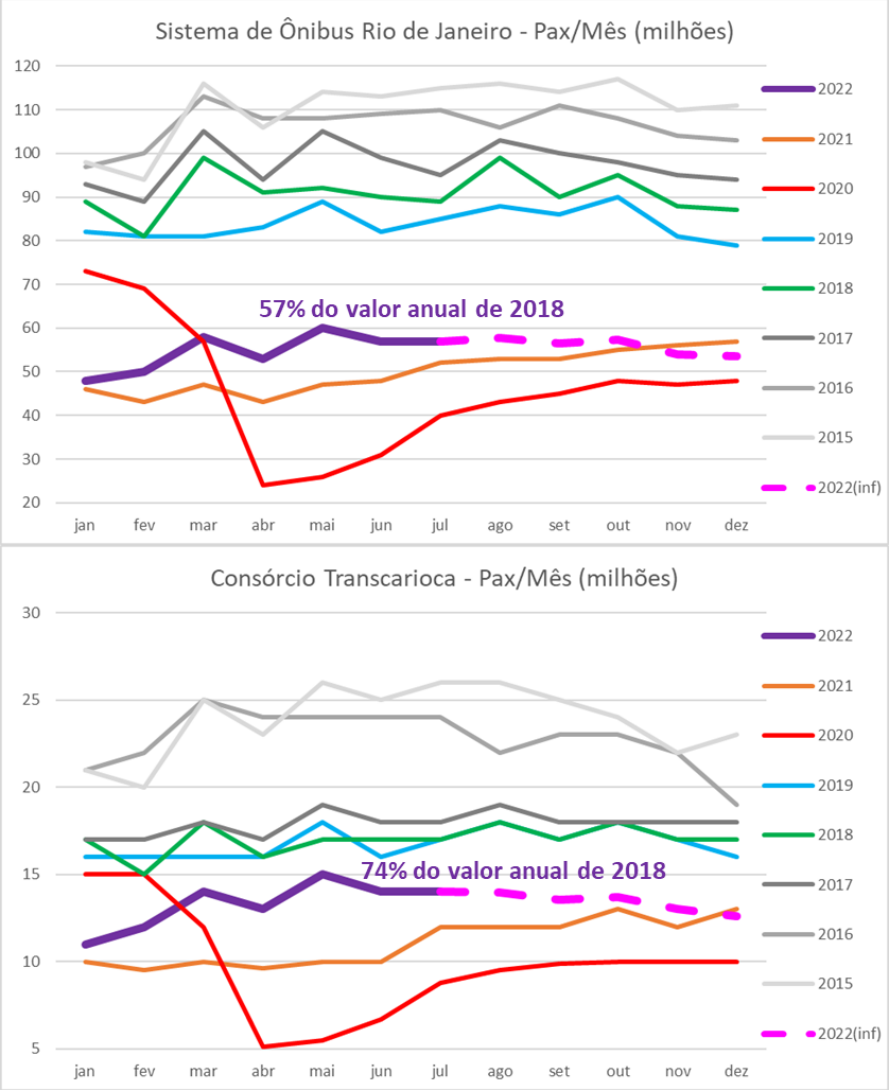


Figura 41 – Volumes mensais de passageiros ao longo dos anos, de 2015 a 2022

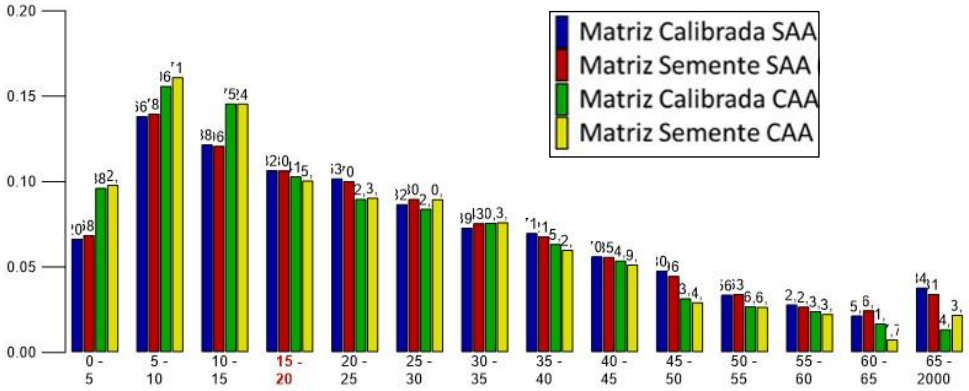


Figura 42 – Histograma de distâncias de viagem (km) para as matrizes sementes e calibradas

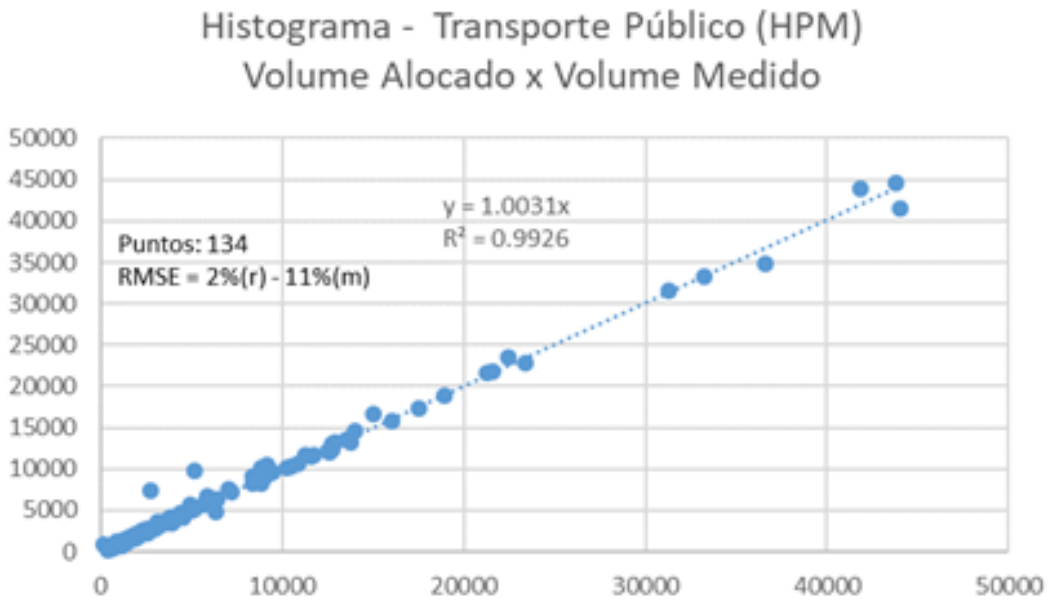


Figura 43 – Volumes alocados X volumes medidos, transporte público

A Figura 44 e mostra a quantidade de viagens de transporte público das matrizes finais para cada zona de transportes e a densidade de viagens produzidas

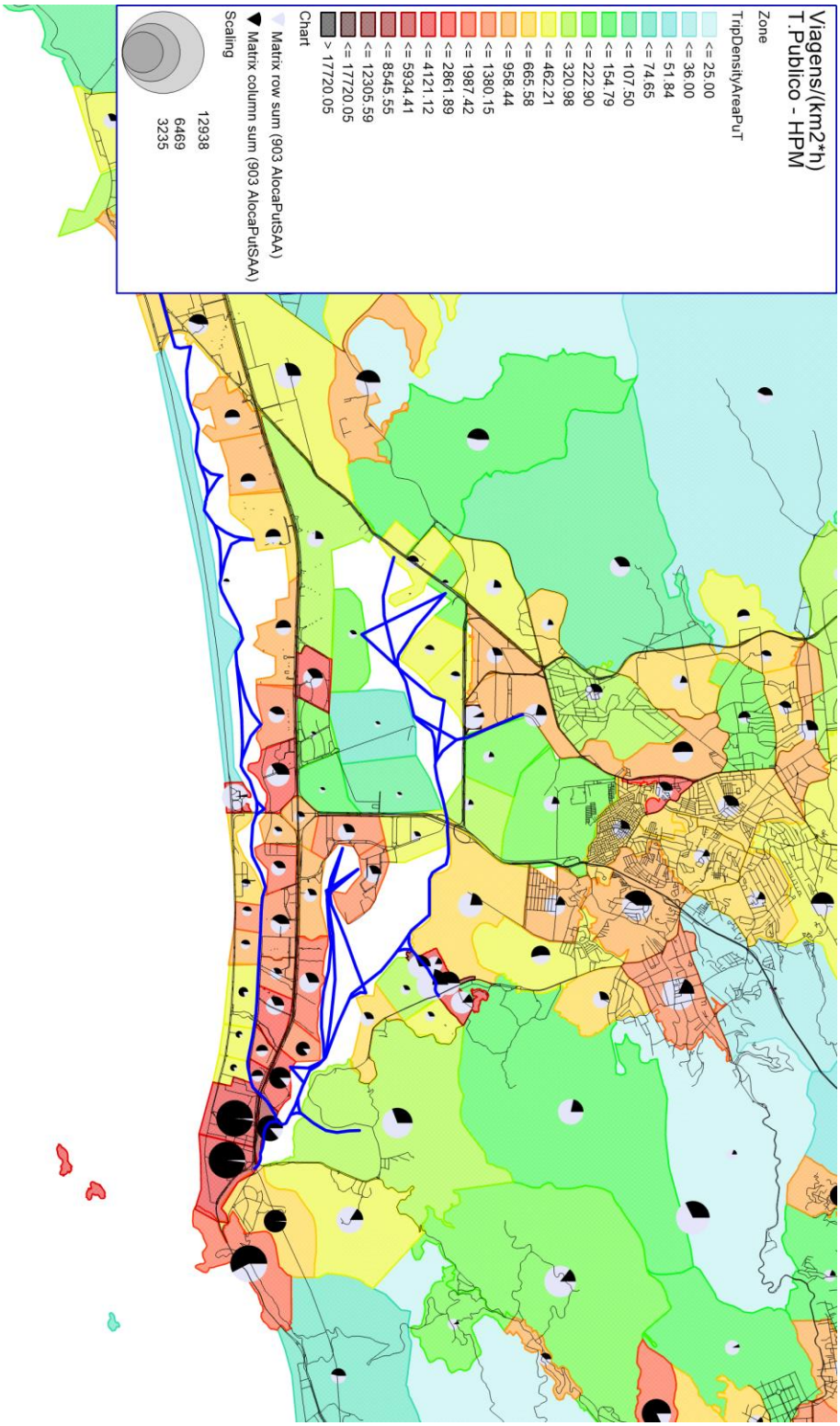


Figura 44 – Geração de viagens e viagens/km2 na hora pico da manhã, transporte publico

Tabela 14 – Volume total de Viagens na áre a de estudo obtido desde a base de dados de celular

Hora de Partida	Viagens totais (Tpub) na área do estudo - Base de Dados de Celular, média 7 dias
2	18 399
3	14 738
4	17 552
5	40 495
6	83 884
7	129 382
8	**158 039**
9	153 334
10	133 231
11	124 772
12	131 050
13	133 679
14	123 570
15	125 859
16	142 165
17	158 875
18	167 340
19	147 237
20	107 942
21	70 503
22	53 150
23	28 694
0	57 829
1	29 933

Expansão: Hora pico -> Período de Operação	
Viagens 06:00 - 22:00	2 144 012
Viagens HPM (08:00)	158 039
Fexp HPM-Dia	**13.6**

Para calcular o fator de expansão da hora de pico da manhã para o dia, foram extraídos os volumes totais de viagens realizadas na área do estudo desde a base de dados de celular. Como o sistema operará entre as 06:00 e as 22:00, o fator de expansão da hora pico para este período é de 13.6.

D.II.1.8) Metodologia para projeção de demanda

As matrizes do pico da manhã e da tarde foram expandidas com base em projeções de população em cada zona de tráfego, e nos postos de emprego e nas matrículas escolares em cada zona de tráfego.

O crescimento dos pares OD nas simulações dos anos futuros foi feito usando-se o Método Fratar, uma expansão duplamente restrita pelas diferentes taxas de evolução da produção (origens) de viagens e da atração (destino) das

viagens em cada zona de tráfego. No período modelado do pico da manhã, as viagens são principalmente das residências para os postos de trabalho/estudo, então a produção de viagens evolui de acordo com a população em cada zona (Figura 45), e a atração de acordo com a de postos de trabalho e estudo em cada zona (Figura 46).

Neste crescimento é necessário balancear o tamanho da matriz resultante tanto pelos crescimentos das origens quanto dos destinos, logo, adotou-se que as atividades (emprego e matrícula) devem ditar o crescimento da matriz pois são os principais motivos para a realização das viagens em ambiente urbano, mais marcadamente durante a hora de pico. E assim, para a execução do fratar a soma dos totais das origens na matriz é modulada para que tenha a mesma dimensão da soma dos totais dos destinos. De acordo com as projeções do PDTU, a população da RMRJ deve crescer, aritmeticamente, 0.95% ao ano, os empregos 3,15% e o volume de matrículas deve decrescer 0,54% ao ano. Como a variável explicativa do crescimento consolidado da matriz será aquela do fator de crescimento conjunto apurado para a soma de postos de empregos e matrículas, o volume de viagens na RMRJ, neste modelo, vai crescer, aritmeticamente cerca de 1.6% ao ano em relação ao volume de viagens do ano inicial de calibração, 2022.

Considerando que a concessão do Complexo Lagunar iniciará as operações em 2023 as matrizes OD de transporte privado e transporte público foram então projetadas para 5, 10, 15 e 25 anos à frente de maneira linear, e alocadas no modelo para que se atualizem os tempos de viagem futuros a partir da evolução do modelo de tráfego e o conseguinte resultado da alocação de transporte público.

O sistema estudado, por operar em meio aquático, não sofrerá diretamente ele mesmo com a evolução dos congestionamentos do entorno e se comportará como um modo em via exclusiva, a exemplo do BRT ou do metrô, com operação regular e controlada. Isso significa que o Complexo Lagunar apresentará aumento de demanda ao longo dos anos proveniente do crescimento natural vegetativo (matriz de viagens), mas também absorverá progressivamente alguns usuários do sistema de ônibus convencional da rede alternativa, que ficará cada vez mais lenta com o aumento do congestionamento nas vias urbanas com o passar dos anos.

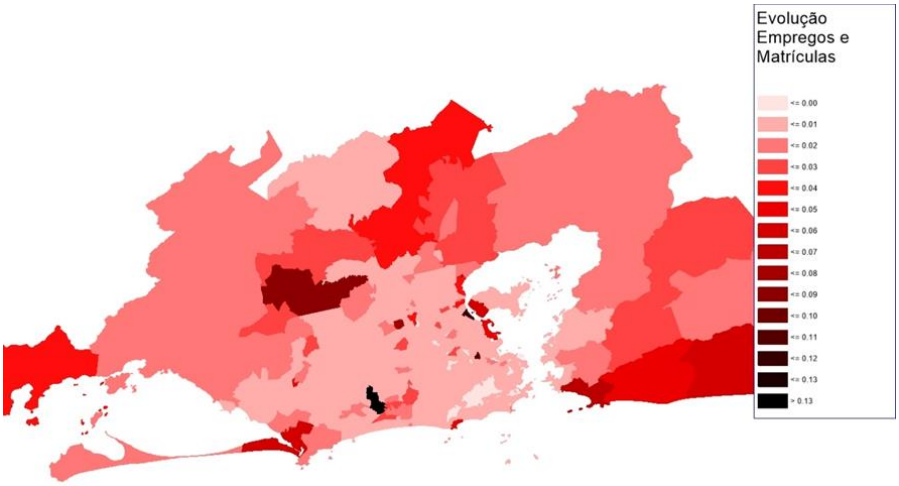


Figura 45 – Evolução linear média de residentes trabalhadores e estudantes. Evolução apresentada pelo PDTU 2012, para o período de 2012 a 2022

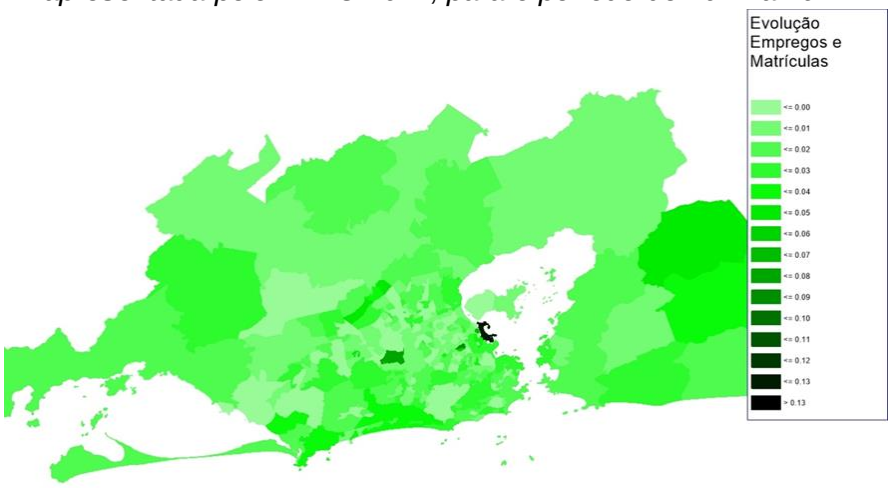


Figura 46 - Evolução linear média de postos de estudo e de trabalho Evolução apresentada pelo PDTU 2012, para o período de 2012 a 2022

O crescimento de viagens de automóveis pelo método Fratar foi feito de forma aritmética, o que é mais coerente para redes urbanas já consolidadas que não comportam crescimentos exponenciais como normalmente é feito em projeções de tráfego regional rodoviário.

D.II.1.9) Resultados

Nesta seção serão apresentados os resultados para os três cenários simulados no ano de 2022, que passou a ser chamado de ano base. Para cada cenário será apresentada a descrição das modificações na rede, com o respectivo mapa mostrando as linhas em operação e uma tabela de resultados com a demanda diária resultante para cada estação, bem como a variação diária em relação ao cenário de referência. Também serão apresentados e

comentados alguns gráficos de comparação do fluxo de passageiros que viaja pela rede de transporte da RMRJ.

Em seguida serão apresentados os resultados destes cenários, projetados para os anos futuros.

D.II.1.9.1) Cenário Atual

O Cenário atual corresponde ao cenário de referência para o estudo e nele são simulados os volumes de tráfego e as demandas de passageiros no sistema de transporte público da RMRJ na situação atual, ou seja, sem o Complexo Lagunar.

D.II.1.9.1.1) Transporte Privado

Os volumes de tráfego em veículos equivalentes podem ser observados na Figura 47 para pico da manhã. Os volumes são proporcionais à espessura das barras em cada trecho de via, e as velocidades modeladas são representadas pelas cores.

A representação do transporte privado no modelo de simulação e seu desempenho na rede viária é fundamental para dar sustentação às transferências de passageiros entre os sistemas de transporte convencional e segregados. Tanto no cenário atual quanto nas projeções, o congestionamento de tráfego (presença de filas e perda de tempo) na rede viária compartilhada afeta os automóveis e caminhões, mas também afeta os ônibus convencionais. Quanto maior o congestionamento, maior o tempo de viagem nos ônibus convencionais e, em consequência, mais atrativos ficam os modos segregados, por utilizarem vias exclusivas, e que não estão sujeitas às variações de desempenho provocadas pela saturação do tráfego.

Desta forma, pode-se observar nas figuras alguns trechos em cores mais fortes, que são os locais mais saturados, e que apresentam velocidades reduzidas e trechos em cores mais claras, que apresentam melhor desempenho. Estes trechos correspondem respectivamente aos gargalos do sistema viário: acessos aos túneis, pontos de convergência e de descontinuidade da rede, onde existe redução de capacidade viária por presença de semáforos, pontos de ônibus ou por convergência de fluxos; e aos locais de melhor fluidez, onde a oferta viária supera a demanda.

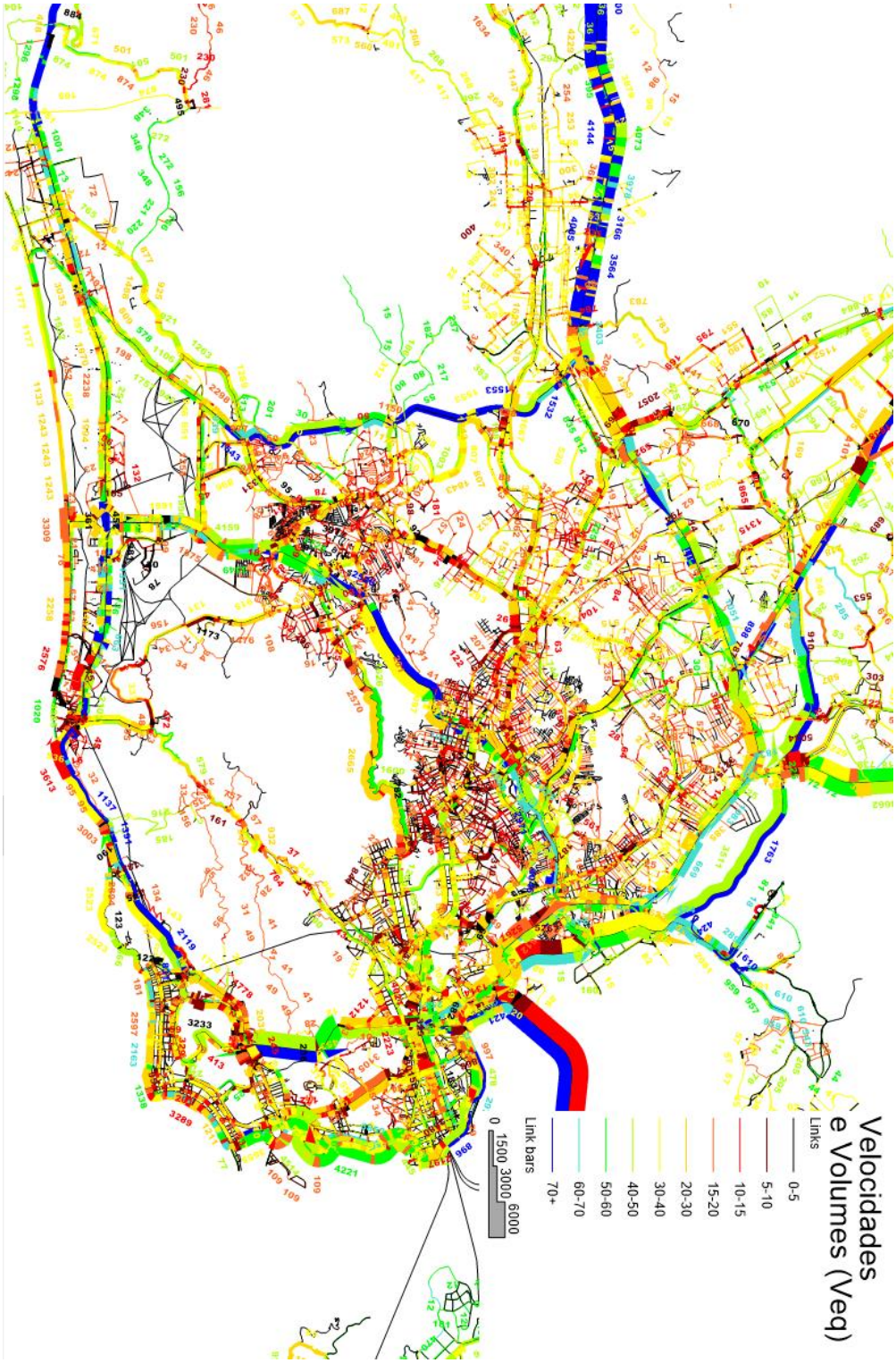


Figura 47 – Volumes de tráfego geral e velocidades modelados, vista completa da cidade

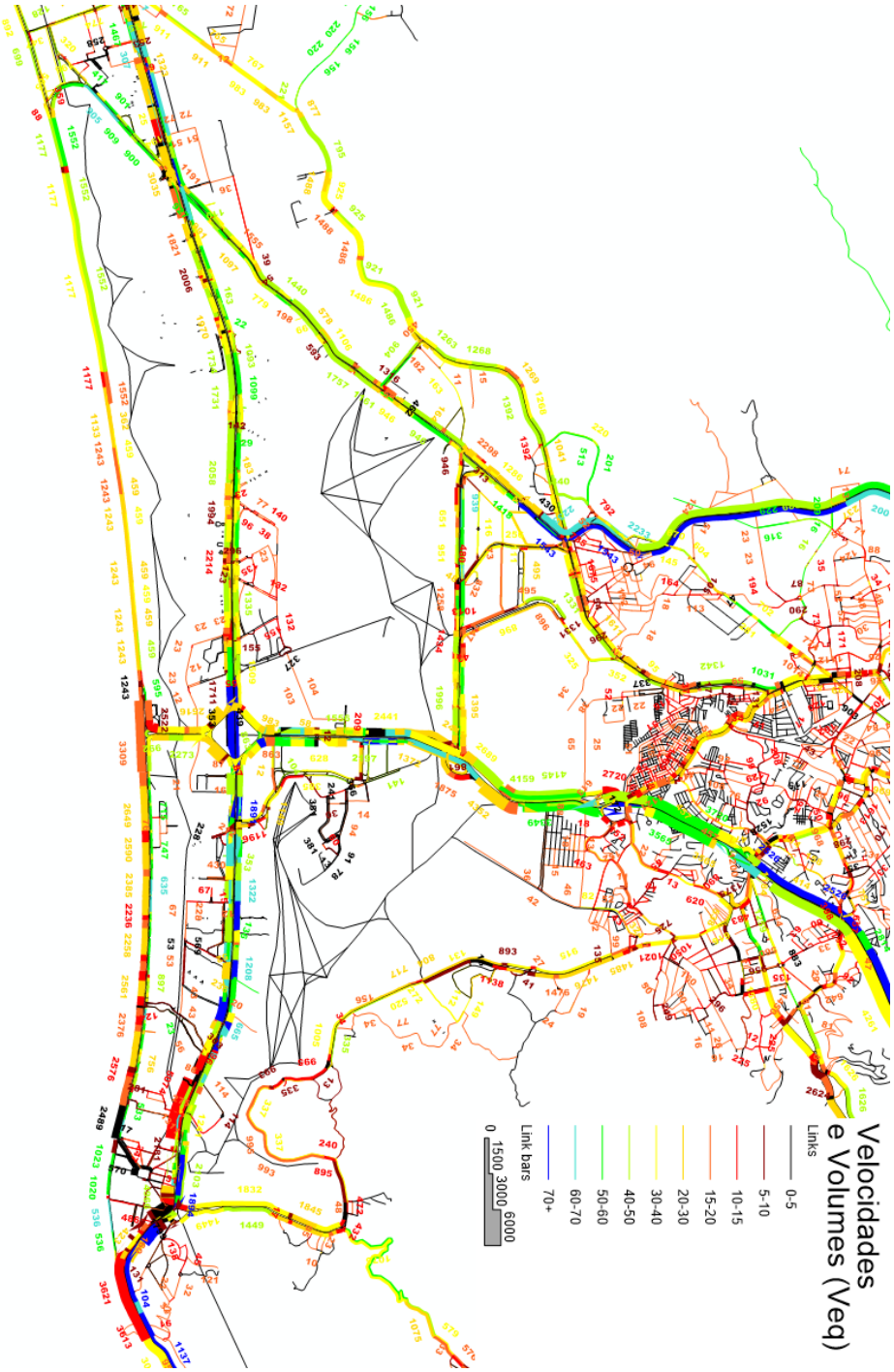


Figura 48 – Volumes de tráfego geral e velocidades modelados, área de influência

D.II.1.9.1.2) Transporte Público

Neste cenário são representadas as linhas atuais dos modos de transporte público: ônibus regular, BRT, Metrô e trem.

Desde a Figura 49 pode-se observar os gráficos de carregamentos de passageiros para o cenário atual na hora pico da manhã na rede de transportes da área de influência do estudo, onde as barras em tons de amarelo e marrom representam os volumes de passageiros em cada trecho da rede, e as circunferências representam os volumes de embarque (vermelho) e desembarque (azul) em cada ponto de parada de ônibus ou estação de BRT, VLT, trem ou metrô.

Figura 49 - Volumes de passageiros e de embarques e desembarques por parada, vista completa, hora pico da manhã

Figura 50 – Volumes de passageiros e de embarques e desembarques por parada, detalhe área de influência do projeto, hora pico da manhã

D.II.1.9.2) Cenário de Triagem

Para o complexo lagunar existe uma grande quantidade de linhas possíveis, mas para analisar quais são aquelas linhas para as quais pode haver demanda, foi feita uma simulação preliminar de um cenário hipotético em que as Lagoas podem ser atravessadas livremente em qualquer direção, podendo-se sair de qualquer estação e parar em qualquer estação a uma velocidade de 30km/h, sem cobrança de tarifa e sem tempos de parada (Figura 51)

Figura 51 – Todas as Conexões possíveis no modelo do Complexo Lagunar

A Figura 52 apresenta o fluxo de passageiros capturados (Flow Bundle) pelo sistema Lagunar nessa configuração, a Figura 53 apresenta este mesmo fluxo acompanhado das linhas de desejo e dos volumes de viagens com origem ou destino, em cada zona de tráfego do modelo, que usam as conexões modeladas.

Por último, foi extraída uma subrede do modelo com apenas a malha de simulação do complexo Lagunar e a demanda capturada. A partir dessa rede foram identificados os principais pares origem destino do sistema de forma que foi possível desenhar um conjunto otimizado de 16 serviços para que se mantivesse, na simulação de uma situação real com cobrança de tarifa de R$4,05 e tempos de parada e interface dos barcos com os píeres de 1 minuto, a maior parte da demanda possível capturada no cenário de triagem.

As linhas propostas são apresentadas na seção seguinte, bem como os resultados encontrados para a operação das mesmas com aerobarcos a 30km/h ou barcos convencionais de maior capacidade a 15km/h.

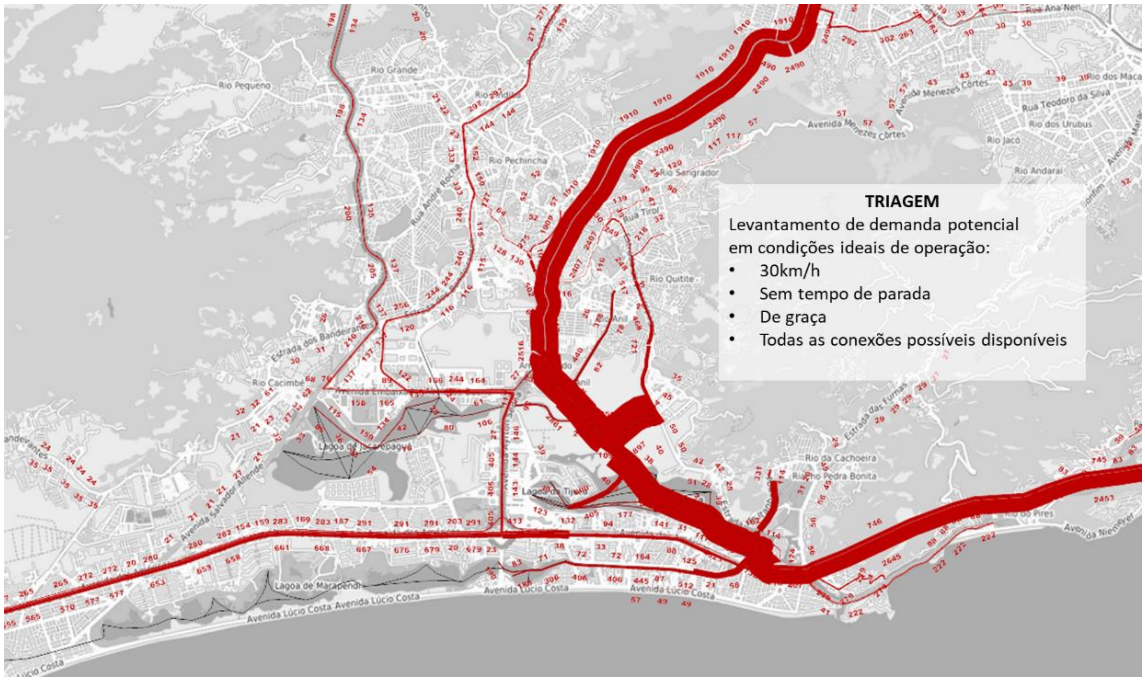


Figura 52 – Fluxos (Flow Bundle) da demanda de passageiros capturada pelo Complexo Lagunar no cenário de Triagem

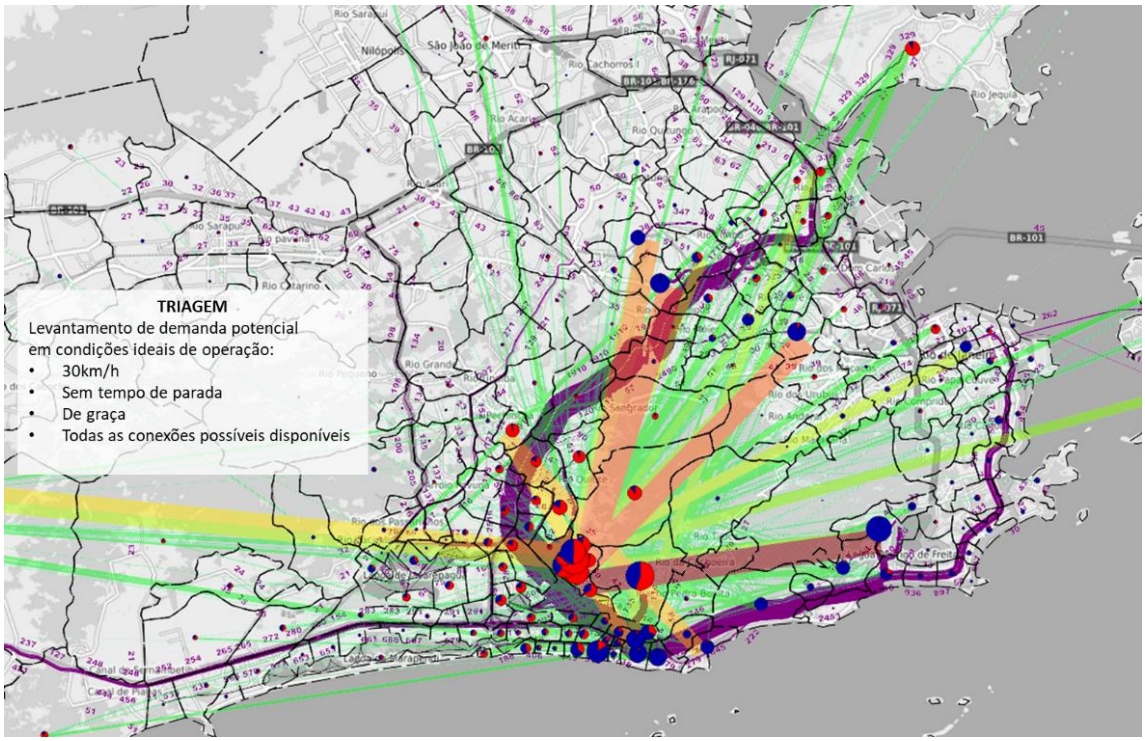


Figura 53 -Demanda potencial máxima do complexo Lagunar e suas linhas de desejo

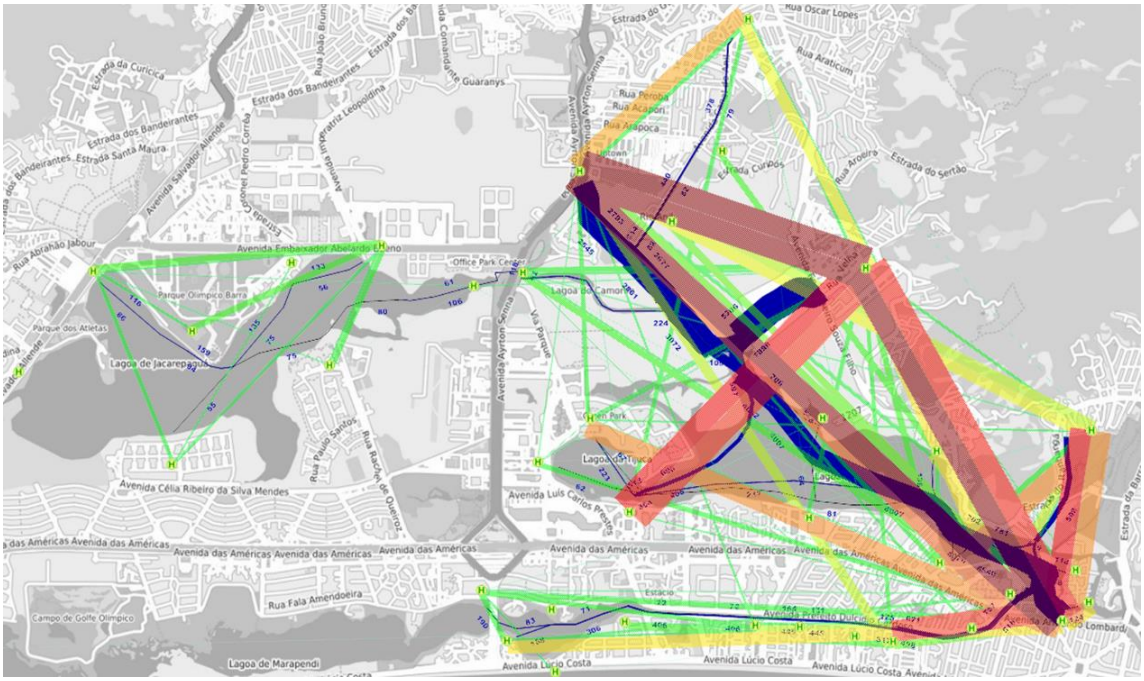


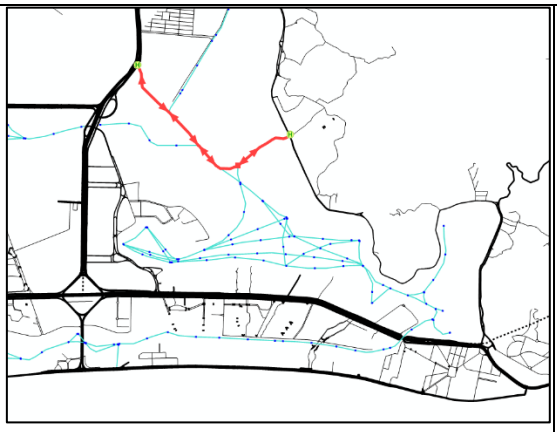
Figura 54 – Linhas de desejo internas do sistema, para otimização de linhas a serem propostas.

D.II.1.9.3) Cenário Sistema Aquaviário Lagunar Barra da Tijuca

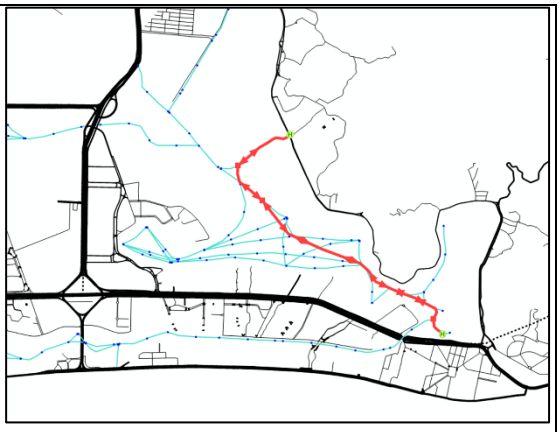
As linhas propostas foram simuladas com velocidade de 15km/h e de 30km/h para se obter a demanda para o sistema a ser implementado, com barcos convencionais, maiores e mais lentos, ou com aerobarcos, mais rápidos. As linhas propostas foram inseridas na matriz tarifária do modelo como linhas de ônibus convencionais, com a tarifa integral de R$4,05 e as mesmas tarifas de integração (Tabela 4).

O tempo de parada dos barcos de todas as linhas em todos os píeres considerado para a simulação é de um minuto. Esse tempo premissado visa representar o atraso decorrente da desaceleração, da parada para embarques e desembarques e da aceleração do barco na partida.

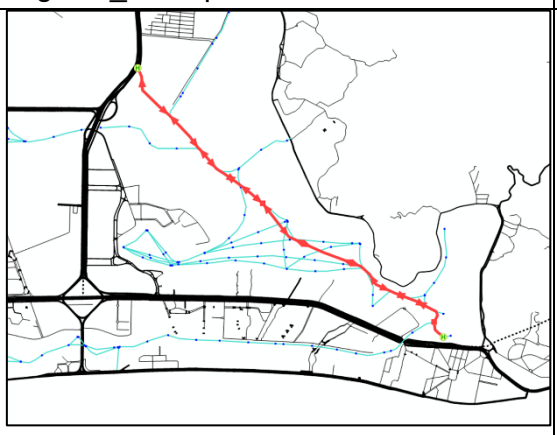
Neste cenário são estudadas as linhas de transporte aquaviário propostas para as lagoas da Barra da Tijuca e Canal de Marapendi (Figura 55).



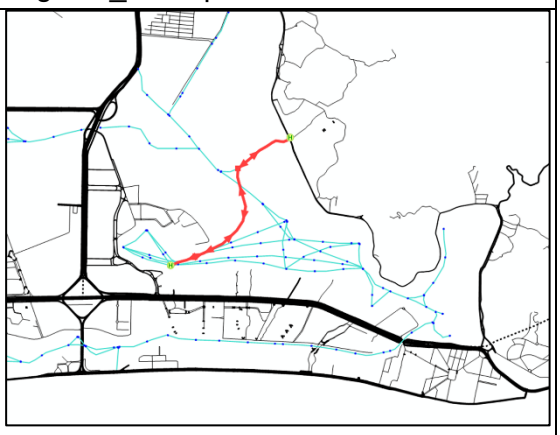
Lagunar_01 Exp.RPedras-LAmarela



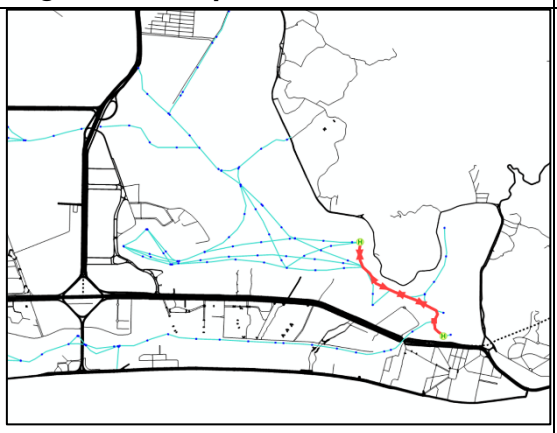
Lagunar_02 Exp.RPedra-JOceanico



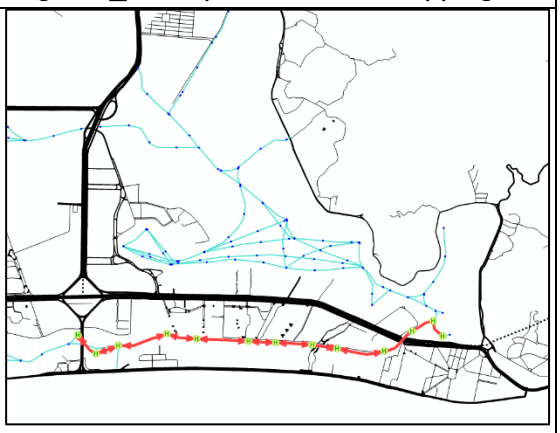
Lagunar_03 Exp.LAmarela-JOceanico



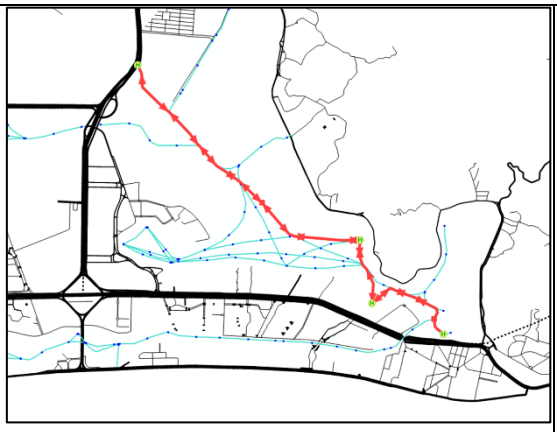
Lagunar_04 Exp.RPedras-BShopping



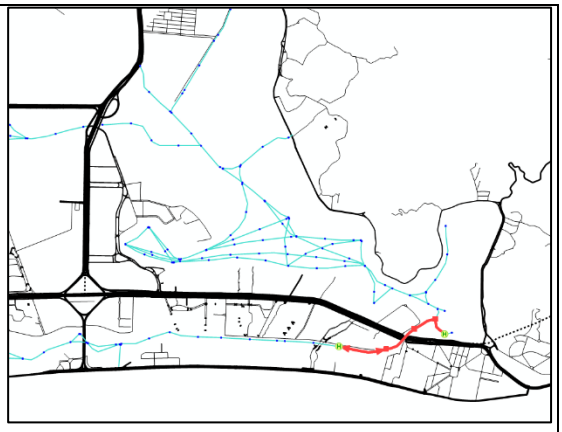
Lagunar_05 Exp.Muzema-JOceanico



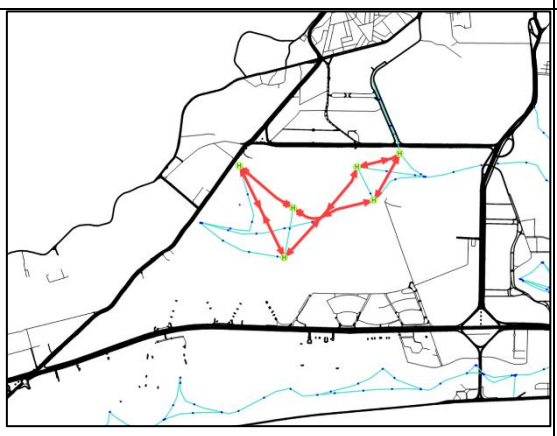
Lagunar_06 Par.LMarapendi-JOceanico



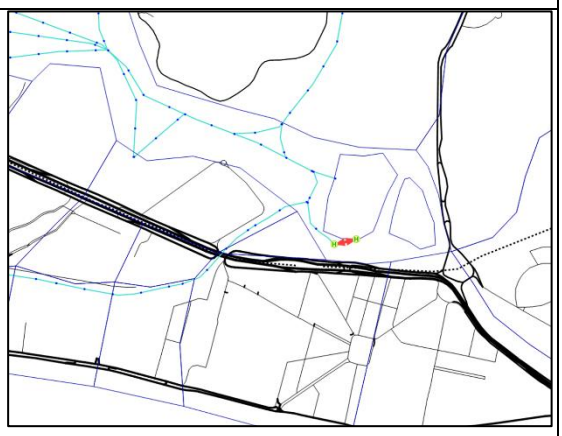
Lagunar_07 Lamarela-Muzema-Citta-Metrô



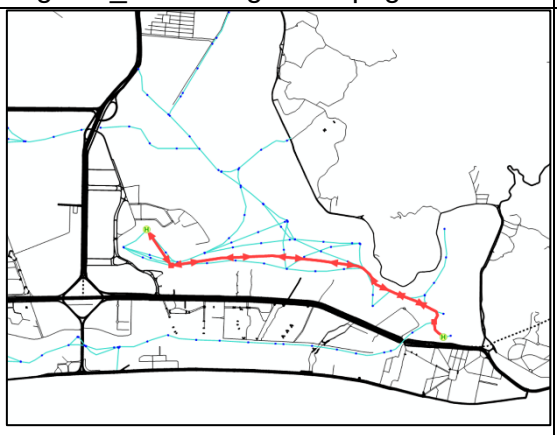
Lagunar_08 Exp.BqMarapendi-JOceanico



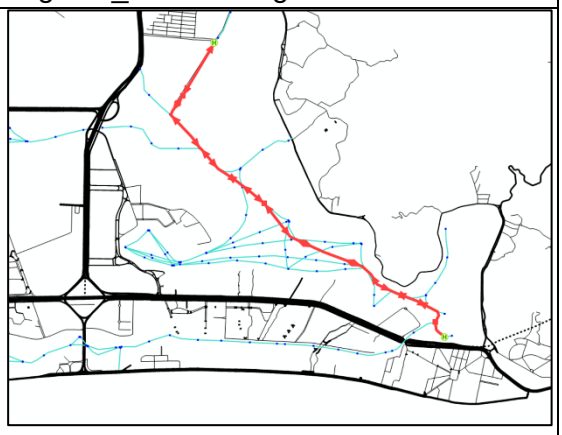
Lagunar_09 Circ.LgJacarepagua



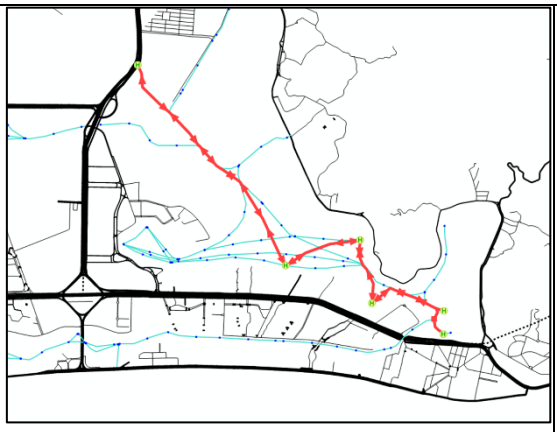
Lagunar_10 BalsaGigoia



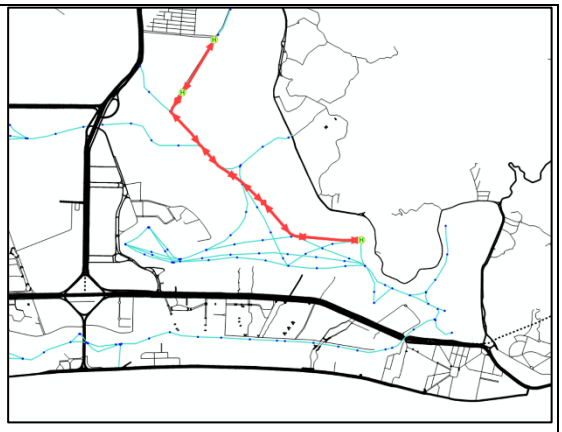
Lagunar_11 Exp.Peninsula-JOceanico



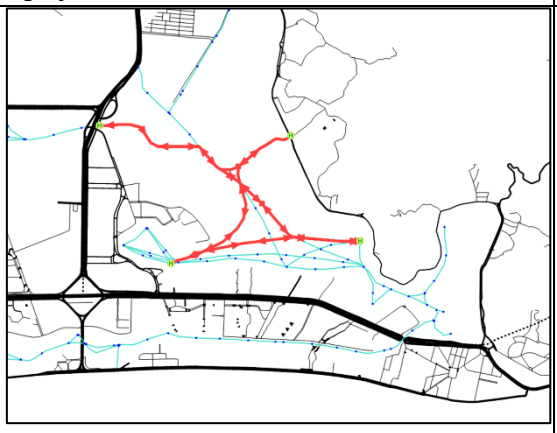
Lagunar_12 Exp.GAzul-JOceanico



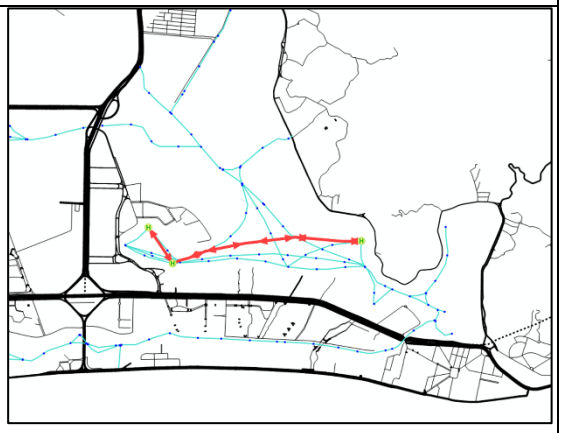
Lagunar_13 Sxp.LAmarela-LgTijucaLeste



Lagunar_14 Sxp.GdAzul-Muzema



Lagunar_15 Circ.LgTijuca



Lagunar_16 Sxp.Peninsula-Muzema

Figura 55 – Linhas propostas para o sistema aquaviário lagunar Barra da Tijuca

Foram avaliadas a demanda com 02 tipos de embarcações:

- Somente Aerobarcos, a 30km/h
- Somente Barcos Convencionais, a 15km/h

E os comparativos dos carregamentos de passageiros são apresentados na Figura 56.

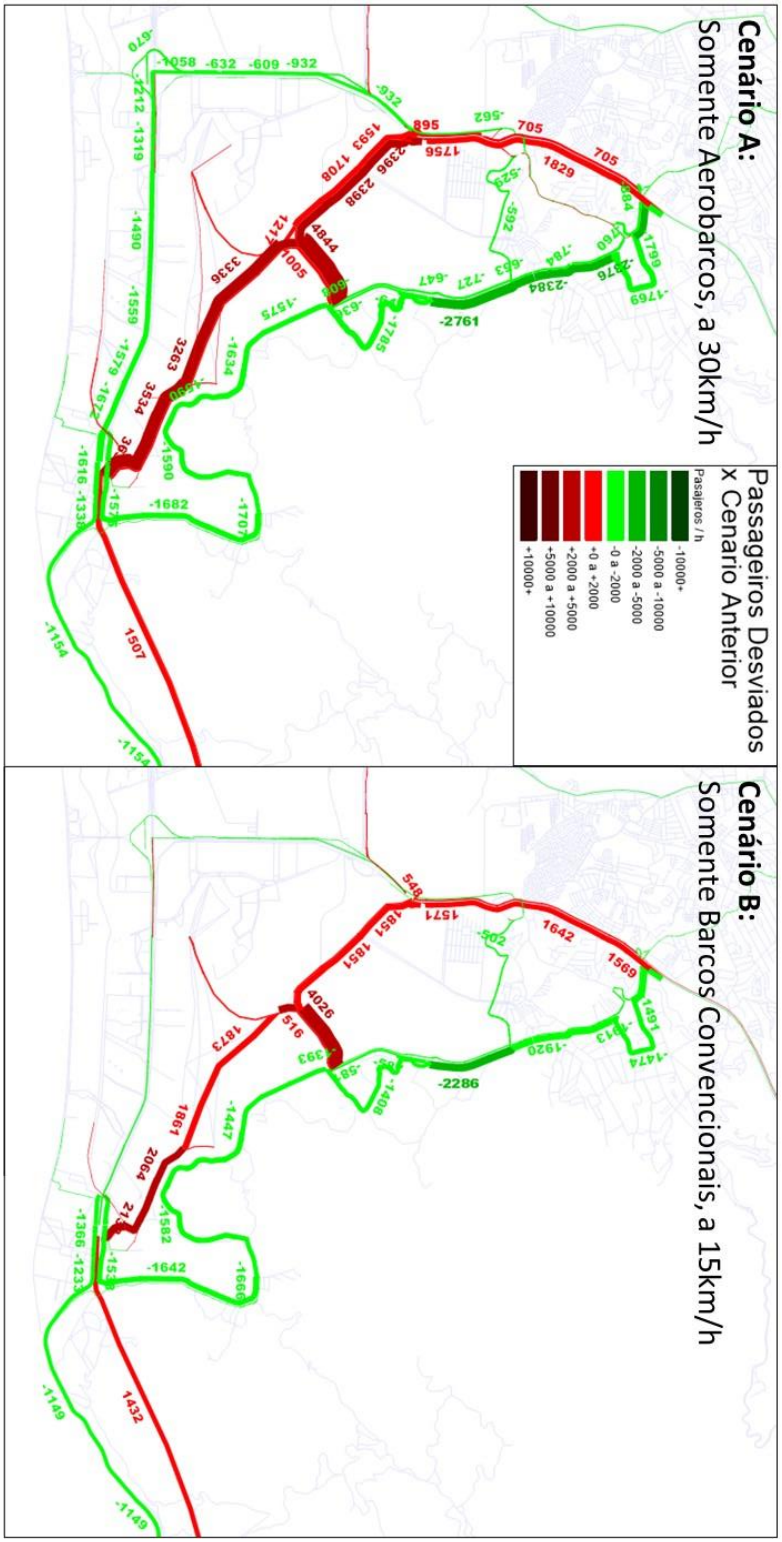


Figura 56 - Renovação nos carregamentos de passageiros comparativo entre cenário atual e cenário aquaviário: (A) Aerobarcos e (B) Barcos convencionais

Em seguida foi extraída a submatriz de viagens (FlowBundle) contendo apenas os usuários do Complexo Lagunar no cenário futuro, considerando os barcos se locomovendo a 15km/h, e alocada isoladamente no cenário atual, sem complexo lagunar para se obter a distribuição de modos utilizados pelos mesmos usuários antes de terem a opção de utilizar o Complexo Lagunar

Com isso, foram consolidados os dados de caminhos dos usuários no modelo antes e depois da implementação do novo sistema. A tabela abaixo apresenta a quantidade de viagens diárias e os percentuais em relação ao total para cada combinação de modos utilizados em ambas as situações.

Tabela A – Distribuição dos usuários do complexo lagunar entre os diferentes modos disponíveis

MODOS UTILIZADOS PELOS USUÁRIOS DO COMPLEXO LAGUNAR (SUBMATRIZ)					
Sem Complexo Lagunar	Viagens Dia Útil	%	Com Complexo Lagunar	Viagens Dia Útil	%
Ônibus	58 082	72.3%	Ônibus, Lagunar	32 836	40.9%
Ônibus, BRT	10 305	12.8%	Ônibus, Metrô, Lagunar	19 224	23.9%
Ônibus, Metrô	2 866	3.6%	Metrô, Lagunar	5 879	7.3%
Ônibus, BRT, Metrô	2 397	3.0%	BRT, Lagunar	5 383	6.7%
Outras Combinações	1 468	1.8%	Lagunar	5 005	6.2%
Ônibus, BRT, Trem	1 304	1.6%	Ônibus, Trem, Lagunar	4 830	6.0%
BRT	1 147	1.4%	Ônibus, BRT, Lagunar	4 562	5.7%
Outras Combinações	2 746	3.4%	*Outras Combinações*	2 597	3.2%
Total	**80 315**	**100%**	**Total**	**80 315**	**100%**

Para auxiliar a análise, nas imagens em seguida são apresentados os fluxos da submatriz de usuários em ambos os cenários, sem o complexo lagunar (acima) e com o complexo lagunar (abaixo). Por onde pode-se observar novamente que o Complexo Lagunar provocará uma transferência importante de usuários para o metrô.

Figura A – Fluxo de usuários da submatriz do complexo lagunar antes da sua implementação

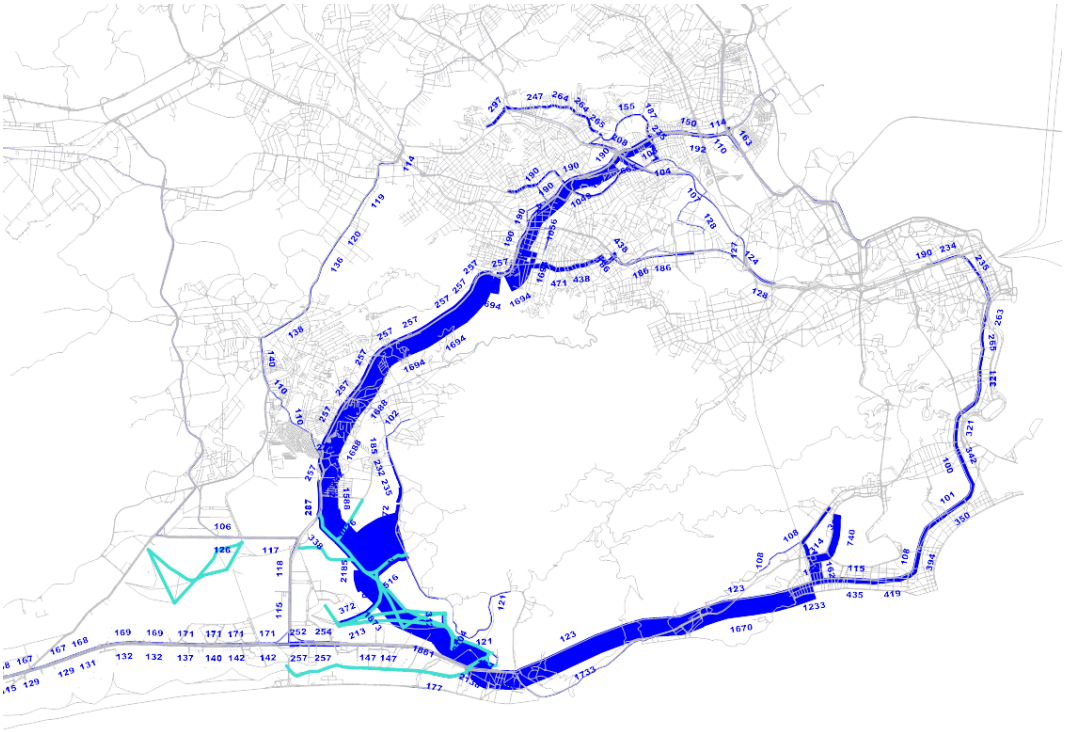


Figura B - Fluxo de usuários da submatriz do complexo lagunar depois da sua implementação

Tabela 15 - Demanda de dia útil - Cenário Aquaviário Lagunar (A)

Complexo Lagunar Operando com Aerobarcos a 30km/h								
Linha	Demanda Pax/h	SeçãoCrít. (Pax/h)	Tempo de Ciclo (s)	Taxa de Renovação	Veíc	Cap.	Freq (Veh/h)	Frota
Lagunar_01-Exp.RPedras-LAmarela	2 779	2 288	818	21%	aer	30	76	25
Lagunar_02-Exp.RPedra-JOceanico	2 501	2 164	1 310	16%	aer	30	72	34
Lagunar_03-Exp.LAmarela-JOceanico	1 043	987	1 610	6%	aer	30	33	19
Lagunar_04-Exp.RPedras-BShopping	531	370	766	43%	aer	30	12	4
Lagunar_05-Exp.Muzema-JOceanico	141	120	536	18%	aer	30	4	1
Lagunar_06-Par.LMarapendi-JOceanico	364	216	2 818	68%	aer	30	7	7
Lagunar_07-Sxp.LAmarela-Muzema-Metrô	200	69	2 020	189%	aer	30	2	2
Lagunar_08-Exp.BMarapendi-JOceanico	253	144	476	76%	aer	30	5	2
Lagunar_09-Circ.LJacarepagua	134	63	2 446	114%	aer	30	2	2
Lagunar_10-BalsaJigoia	93	55	36	69%	aer	30	2	1
Lagunar_11-Exp.Peninsula-JOceanico	152	151	1 332	0%	aer	30	5	3
Lagunar_12-Exp.GAzul-JOceanico	114	112	1 706	2%	aer	30	4	3
Lagunar_13-Sxp.LAmarela-LTijucaLeste	335	93	2 446	262%	aer	30	3	3
Lagunar_14-Sxp.GAzul-Muzema	3	3	1 356	8%	aer	30	0	1
Lagunar_15-Circ.LTijucaOeste	60	22	3 850	171%	aer	30	1	1
Lagunar_16-Sxp.PeninsulaMuzema	71	52	1 008	36%	aer	30	2	1
CONSOLIDADO	**8 776**	**4 844**					**162**	**109**
	Total	**Seção Crít**					**SeçCrt**	**Total**

layover(s)	Veículo	Capacidade	Frota Total		Estim. Pax/Dia
180	gde	120	gde	0	*Pax/HPM*13.6*
	peq	42	peq	0	**119 357**
	aer	30	aer	109	

Linhas desnecessárias, com pouca demanda
Frequências altas podem comprometer a operação
implementação inviável

Tabela 16 - Demanda de dia útil - Cenário Aquaviário Lagunar (B)

Complexo Lagunar Operando com Barcos Convencionais a 15km/h								
Linha	Demanda Pax/h	SeçãoCrít. (Pax/h)	Tempo de Ciclo (s)	Taxa de Renovação	Veíc	Cap.	Freq (Veh/h)	Frota
Lagunar_01-Exp.RPedras-LAmarela	2 117	1 832	1 640	16%	gde	120	15	9
Lagunar_02-Exp.RPedra-JOceanico	1 875	1 813	2 628	3%	gde	120	15	13
Lagunar_03-Exp.LAmarela-JOceanico	27	27	3 232	0%	peq	42	1	1
Lagunar_04-Exp.RPedras-BShopping	527	370	1 534	42%	peq	42	9	5
Lagunar_05-Exp.Muzema-JOceanico	218	204	1 076	7%	peq	42	5	2
Lagunar_06-Par.LMarapendi-JOceanico	218	100	4 326	118%	peq	42	2	4
Lagunar_07-Sxp.LAmarela-Muzema-Metrô	140	59	3 814	138%	peq	42	1	2
Lagunar_08-Exp.BMarapendi-JOceanico	146	102	952	43%	peq	42	2	1
Lagunar_09-Circ.LJacarepagua	112	42	4 302	165%	peq	42	1	2
Lagunar_10-BalsaJigoia	153	95	62	62%	peq	42	2	1
Lagunar_11-Exp.Peninsula-JOceanico	0	0	2 672		peq	42	0	0
Lagunar_12-Exp.GAzul-JOceanico	20	20	3 422	0%	peq	42	0	1
Lagunar_13-Sxp.LAmarela-LTijucaLeste	255	72	4 430	255%	peq	42	2	3
Lagunar_14-Sxp.GAzul-Muzema	1	1	2 596	0%	peq	42	0	1
Lagunar_15-Circ.LTijucaOeste	38	14	7 356	176%	peq	42	0	1
Lagunar_16-Sxp.PeninsulaMuzema	59	43	1 902	37%	peq	42	1	1
CONSOLIDADO	**5 906**	**4 026**					**39**	**47**
	Total	**Seção Crít**					**SeçCrt**	**Total**

layover(s)	Veículo	Capacidade	Frota Total		Estim. Pax/Dia
180	gde	120	gde	22	*Pax/HPM*13.6*
	peq	42	peq	25	**80 315**
	aer	30	aer	0	

Tabela 17 - Desenho Proposto: Aerobarcos + Barcos Convencionais

Linha	Demanda Pax/h	SeçãoCrít. (Pax/h)	Tempo de Ciclo (s)	Taxa de Renovação	Veíc	Cap.	Freq (Veh/h)	Frota
Lagunar_01-Exp.RPedras-LAmarela	2 117	1 832	1 640	16%	gde	120	15	9
Lagunar_02-Exp.RPedra-JOceanico	1 875	1 813	2 628	3%	gde	120	15	13
Lagunar_03-Exp.LAmarela-JOceanico	1 043	987	1 610	6%	aer	30	33	19
Lagunar_04-Exp.RPedras-BShopping	531	370	766	43%	aer	30	12	4
Lagunar_05-Exp.Muzema-JOceanico	141	120	536	18%	aer	30	4	1
Lagunar_06-Par.LMarapendi-JOceanico	364	216	2 818	68%	aer	30	7	7
Lagunar_07-Sxp.LAmarela-Muzema-Metrô	200	69	2 020	189%	aer	30	2	2
Lagunar_08-Exp.BMarapendi-JOceanico	146	102	952	43%	peq	42	2	1
Lagunar_09-Circ.LJacarepagua	134	63	2 446	114%	aer	30	2	2
Lagunar_10-BalsaJigoia	153	95	62	62%	peq	42	2	1
Lagunar_11-Exp.Peninsula-JOceanico	152	151	1 332	0%	aer	30	5	3
Lagunar_12-Exp.GAzul-JOceanico	114	112	1 706	2%	aer	30	4	3
Lagunar_13-Sxp.LAmarela-LTijucaLeste	335	93	2 446	262%	aer	30	3	3
Lagunar_14-Sxp.GAzul-Muzema	3	3	1 356	8%	aer	30	0	1
Lagunar_15-Circ.LTijucaOeste	60	22	3 850	171%	aer	30	1	1
Lagunar_16-Sxp.PeninsulaMuzema	71	52	1 008	36%	aer	30	2	1
CONSOLIDADO	**7 441**							**71**
	Total							**Total**

layover(s)	Veículo	Capacidade	Frota Total		Estim. Pax/Dia
180	gde	120	gde	22	*Pax/HPM*13.6*
	peq	42	peq	2	**101 194**
	aer	30	aer	47	

Tabela 18 – Perfil de alocação de frota proposto para a operação do complexo Lagunar

Hora de Partida	Viagens totais (Tpub) na área do estudo - Base de Dados de Celular, média 7 dias*	% HPM	Frota Operante (2023)
2	18 399	12%	9
3	14 738	9%	7
4	17 552	11%	8
5	40 495	26%	19
6	83 884	53%	38
7	129 382	82%	59
8	158 039	100%	71
9	153 334	97%	69
10	133 231	84%	60
11	124 772	79%	57
12	131 050	83%	59
13	133 679	85%	61
14	123 570	78%	56
15	125 859	80%	57
16	142 165	90%	64
17	158 875	100%	71
18	167 340	100%	71
19	147 237	93%	67
20	107 942	68%	49
21	70 503	45%	32
22	53 150	34%	24
23	28 694	18%	13
0	57 829	37%	26
1	29 933	19%	14

Demanda HPT não é tão tipicamente assimétrica quanto HPM

D.II.1.9.4) Cenário Aquaviário Sem Integração Tarifária

Foi simulado um cenário alternativo em que não foram consideradas quaisquer integrações tarifárias entre as linhas do complexo lagunar e os outros modos de transporte.

A Tabela 19 apresenta os resultados obtidos, por onde se observa que sem integração tarifária com os outros modos, o complexo lagunar inicia sua operação com uma demanda aproximadamente 19% menor do que a do cenário futuro base, em que há integração tarifária.

Tabela 19 - Demanda de dia útil - Complexo Lagunar operando com barcos convencionais a 15km/h e sem as integrações tarifárias dos ônibus convencionais, ano-base

Complexo Lagunar Operando com Barcos Convencionais a 15km/h								
Linha	Demanda Pax/h	SeçãoCrít. (Pax/h)	Tempo de Ciclo (s)	Taxa de Renovação	Veíc	Cap.	Freq (Veh/h)	Frota
Lagunar_01-Exp.RPedras-LAmarela	1 525	1 455	1 640	5%	gde	120	12	7
Lagunar_02-Exp.RPedra-JOceanico	1 711	1 683	2 628	2%	gde	120	14	12
Lagunar_03-Exp.LAmarela-JOceanico	1	1	3 232	0%	peq	42	0	1
Lagunar_04-Exp.RPedras-BShopping	512	375	1 534	37%	peq	42	9	5
Lagunar_05-Exp.Muzema-JOceanico	143	136	1 076	5%	peq	42	3	2
Lagunar_06-Par.LMarapendi-JOceanico	186	121	4 326	53%	peq	42	3	4
Lagunar_07-Sxp.LAmarela-Muzema-Metrô	69	33	3 814	106%	peq	42	1	1
Lagunar_08-Exp.BMarapendi-JOceanico	78	65	952	21%	peq	42	2	1
Lagunar_09-Circ.LJacarepagua	92	38	4 302	141%	peq	42	1	2
Lagunar_10-BalsaJigoia	151	94	62	62%	peq	42	2	1
Lagunar_11-Exp.Peninsula-JOceanico	0	0	2 672		peq	42	0	0
Lagunar_12-Exp.GAzul-JOceanico	4	4	3 422	0%	peq	42	0	1
Lagunar_13-Sxp.LAmarela-LTijucaLeste	235	75	4 430	214%	peq	42	2	3
Lagunar_14-Sxp.GAzul-Muzema	0	0	2 596	0%	peq	42	0	1
Lagunar_15-Circ.LTijucaOeste	33	12	7 356	166%	peq	42	0	1
Lagunar_16-Sxp.PeninsulaMuzema	52	40	1 902	29%	peq	42	1	1
CONSOLIDADO	**4 793**	**4 026**					**39**	**43**

Total layover(s)	Seção Crít Veículo	Capacidade	Frota Total		SeçCrt Total Estim. Pax/Dia
180	gde	120	gde	19	*Pax/HPM*13.6*
	peq	42	peq	24	**65 183**
	aer	30	aer	0	

D.II.1.9.5) Cenário Melhorias Av. Eng. Souza Filho

A prefeitura do Rio de Janeiro pretende investir em obras de infraestrutura da Avenida Engenheiro Souza Filho no trecho que liga Muzema a Rio das Pedras, de cerca de 2km, para se evitar enchentes nas épocas de chuvas e com isso, a durabilidade do pavimento deverá melhorar. Espera-se então que haja uma melhor transitabilidade e redução na frequência de bloqueios e congestrionamentos nesse trecho. Isto deverá facilitar a circulação das linhas de ônibus, reduzindo o tempo de viagem e tornando-as mais atrativas em comparação ao complexo aquaviário. Desta forma, estas linhas de ônibus poderiam reabsorver parte da demanda do complexo lagunar, que tem linhas de barcos em trajetos paralelos. (link para a matéria de referência: https://www.agencialume.com/post/prefeitura-pretende-investir-rs-28-milhoes-em-obras-de-infraestrutura-da-av-engenheiro-souza-filho)

Apesar de ser uma obra apenas de readequação para redução de problemas eventuais, foi simulado um cenário considerando aumento da capacidade e da

velocidade de fluxo livre para este trecho, no modelo, para efeitos de sensibilidade acerca do impacto potencial dessas melhorias na demanda do complexo lagunar sobre o cenário anterior (sem integração tarifária). A Figura 57 apresenta os potenciais volumes de passageiros desviados pelas intervenções na hora de pico.

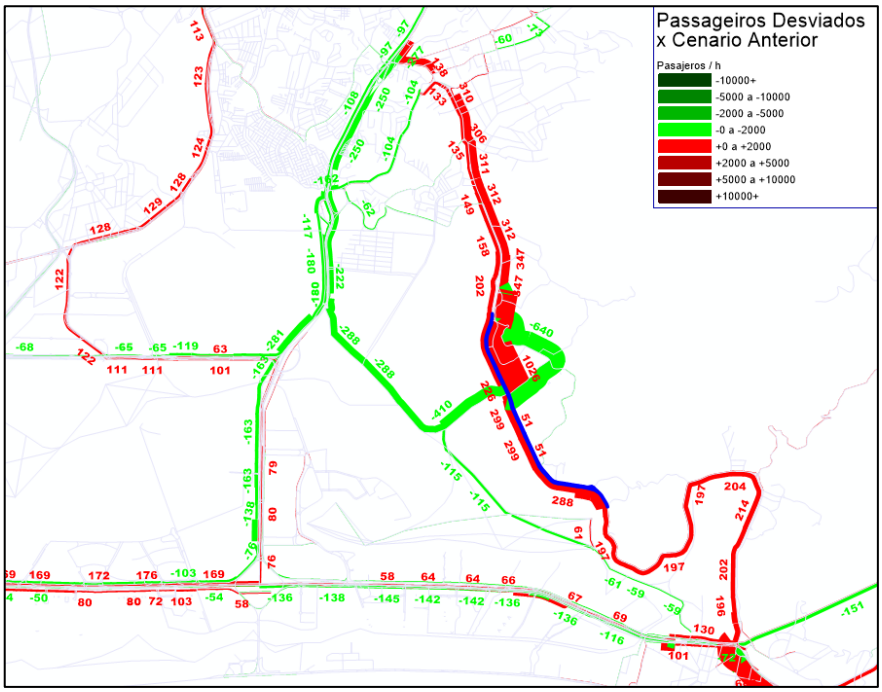


Figura 57 – Passageiros desviados pelas melhorias (trecho em azul) na avenida Engenheiro Souza Filho

A Tabela 20 apresenta os resultados obtidos, onde se observa que, com essas melhorias na avenida, o complexo lagunar iniciaria sua operação com uma demanda aproximadamente 8% menor do que a do cenário anterior sem integração tarifária, acumulando cerca de 25% de redução em relação à demanda resultante no cenário base, com integração tarifária. Este representaria então o cenário mais pessimista para o complexo lagunar.

Tabela 20 - Demanda de dia útil - Complexo Lagunar operando com barcos convencionais a 15km/h, sem as integrações tarifárias dos ônibus convencionais e

com melhorias na Av. Eng. Souza Filho, ano base

Complexo Lagunar Operando com Barcos Convencionais a 15km/h								
Linha	Demanda Pax/h	SeçãoCrít. (Pax/h)	Tempo de Ciclo (s)	Taxa de Renovação	Veíc	Cap.	Freq (Veh/h)	Frota
Lagunar_01-Exp.RPedras-LAmarela	1 239	1 172	1 640	6%	gde	120	10	6
Lagunar_02-Exp.RPedra-JOceanico	1 599	1 571	2 628	2%	gde	120	13	11
Lagunar_03-Exp.LAmarela-JOceanico	0	0	3 232	1%	peq	42	0	1
Lagunar_04-Exp.RPedras-BShopping	502	363	1 534	38%	peq	42	9	5
Lagunar_05-Exp.Muzema-JOceanico	194	188	1 076	3%	peq	42	4	2
Lagunar_06-Par.LMarapendi-JOceanico	180	114	4 326	58%	peq	42	3	4
Lagunar_07-Sxp.LAmarela-Muzema-Metrô	69	40	3 814	72%	peq	42	1	2
Lagunar_08-Exp.BMarapendi-JOceanico	79	69	952	13%	peq	42	2	1
Lagunar_09-Circ.LJacarepagua	92	38	4 302	141%	peq	42	1	2
Lagunar_10-BalsaJigoia	152	95	60	60%	peq	42	2	1
Lagunar_11-Exp.Peninsula-JOceanico	0	0	2 672		peq	42	0	0
Lagunar_12-Exp.GAzul-JOceanico	4	4	3 422	0%	peq	42	0	1
Lagunar_13-Sxp.LAmarela-LTijucaLeste	235	74	4 430	218%	peq	42	2	3
Lagunar_14-Sxp.GAzul-Muzema	0	0	2 596	0%	peq	42	0	1
Lagunar_15-Circ.LTijucaOeste	32	14	7 356	128%	peq	42	0	1
Lagunar_16-Sxp.PeninsulaMuzema	32	21	1 902	52%	peq	42	1	1
CONSOLIDADO	**4 408**	**4 026**					**39**	**42**

Total layover(s)	Seção Crít Veículo	Capacidade	Frota Total		SeçCrt Total Estim. Pax/Dia
180	gde	120	gde	17	*Pax/HPM*13.6*
	peq	42	peq	25	**59 955**
	aer	30	aer	0	

D.II.1.10) Resultados das Projeções

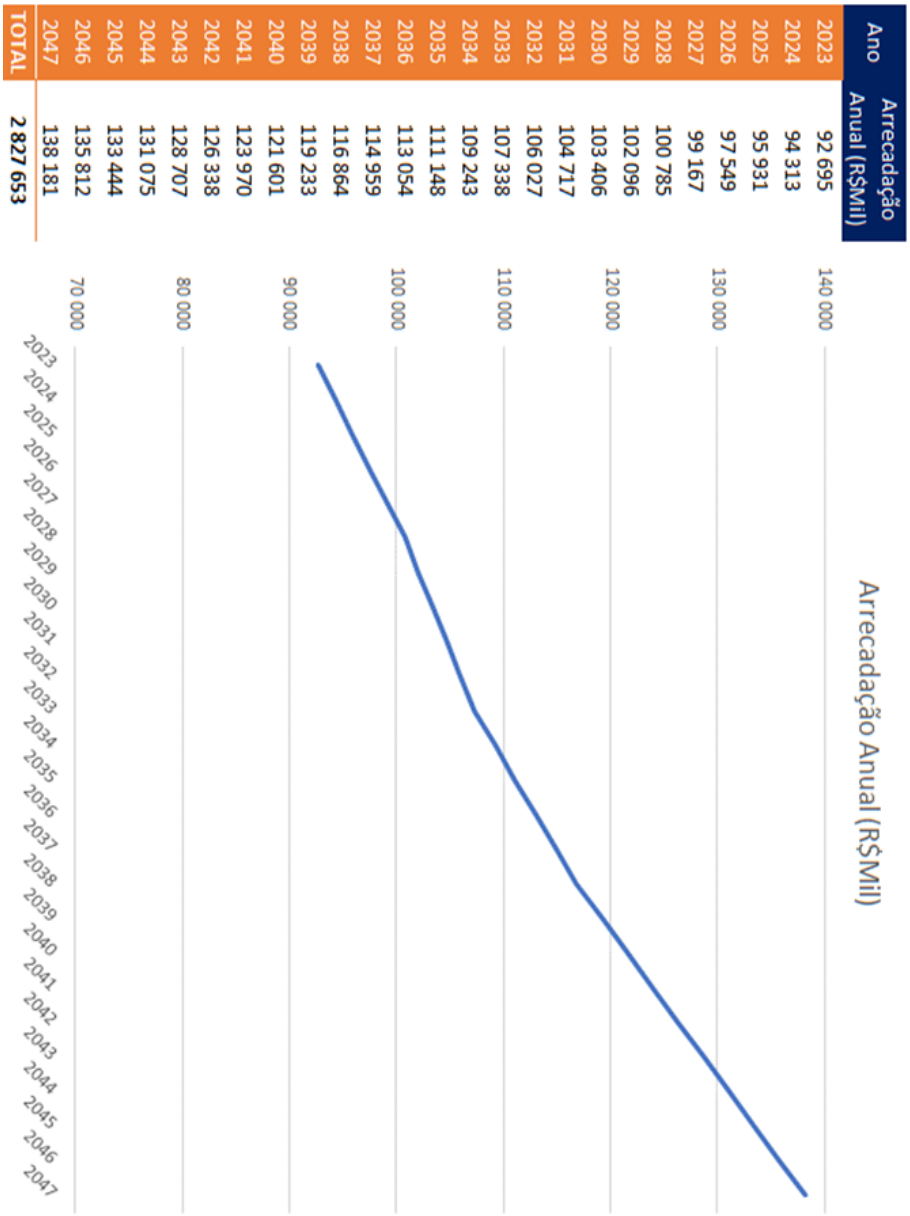
No cenário base com integração tarifária (Tabela 21), observa-se que a demanda do sistema cresceu em média 1.9% ao ano, aritmeticamente, 28% mais rapidamente que a demanda de viagens consolidada da RMRJ.

No cenário sem integração tarifária (Tabela 22), a frota mínima necessária calculada na projeção inicia com um barco a menos e termina com 9 barcos a menos do que a frota calculada no cenário base. A arrecadação total no horizonte da projeção fica cerca de 11% menor que o resultado do cenário base.

No cenário seguinte, com as melhorias na Av. Eng. Souza Filho (Tabela 23), a frota mínima necessária calculada na projeção inicia com um barco a menos e termina com 19 barcos a menos do que a frota calculada no cenário anterior (sem integração tarifária). A arrecadação total no horizonte da projeção fica cerca de 10% menor que a obtida no cenário anterior e 20% menor que no cenário base.

Tabela 21 – Resultados das projeções, demanda diária do sistema e frota mínima necessária por linha e por tipo de barco

Ano	Passageiros/ Dia Útil	Frota Mínima Necessária por Linha-TipoBarco																Frota		Total
		1-gde	2-gde	3-peq	4-peq	5-peq	6-peq	7-peq	8-peq	9-peq	10-peq	11-peq	12-peq	13-peq	14-peq	15-peq	16-peq	aer	peq	gde	
2023	81 742	8	12	2	5	2	3	3	1	3	1	0	2	3	2	5	2	0	34	20	54
2024	83 169	8	12	2	5	3	3	3	1	3	1	0	2	3	2	5	2	0	35	20	55
2025	84 596	8	12	2	6	3	3	3	1	3	1	0	2	3	2	6	2	0	37	20	57
2026	86 022	8	12	2	6	3	4	3	1	3	1	0	2	3	2	6	2	0	38	20	58
2027	87 449	8	13	2	6	4	4	3	1	3	1	0	3	3	2	6	2	0	40	21	61
2028	88 876	8	13	2	6	4	4	3	2	3	1	0	3	3	2	6	2	0	41	21	62
2029	90 031	8	13	2	6	4	4	3	2	3	1	0	3	3	2	6	2	0	41	21	62
2030	91 187	8	13	2	6	4	4	3	2	3	1	0	3	3	2	6	2	0	41	21	62
2031	92 343	8	13	2	6	4	5	3	2	3	1	0	3	3	2	7	2	0	43	21	64
2032	93 498	8	14	1	6	4	5	3	2	3	1	0	3	3	2	7	2	0	42	22	64
2033	94 654	8	14	1	6	4	5	3	2	3	1	0	3	3	2	7	2	0	42	22	64
2034	96 334	8	14	1	7	4	5	3	2	3	1	0	4	3	2	8	2	0	45	22	67
2035	98 014	8	14	1	7	4	5	4	2	3	1	0	4	3	2	9	2	0	47	22	69
2036	99 695	8	14	1	7	4	5	4	2	3	1	0	4	3	2	9	2	0	47	22	69
2037	101 375	8	14	1	7	4	5	4	2	3	1	0	4	3	2	10	2	0	48	22	70
2038	103 055	8	14	1	8	4	6	5	2	3	1	0	5	3	2	11	2	0	53	22	75
2039	105 144	7	14	1	9	4	6	5	2	3	1	0	5	3	2	11	2	0	54	21	75
2040	107 232	7	15	1	11	4	7	5	2	3	1	0	5	3	2	11	2	0	57	22	79
2041	109 321	6	15	1	12	5	7	5	2	3	1	0	5	3	2	11	2	0	57	22	79
2042	111 409	6	15	1	14	5	8	5	2	4	1	0	5	3	3	12	2	0	61	21	82
2043	113 498	5	16	1	15	5	8	5	2	4	1	0	5	4	3	12	2	0	65	21	86
2044	115 587	5	16	1	17	5	9	5	2	4	1	0	5	4	3	12	2	0	67	21	88
2045	117 675	4	16	1	18	5	9	6	2	4	1	0	5	4	3	12	2	0	70	21	91
2046	119 764	4	16	1	20	6	10	6	2	4	1	0	6	4	3	12	2	0	73	20	93
2047	121 852	3	17	1	21	6	11	6	2	4	1	0	6	4	4	13	2	0	79	20	99
Crescimento Anual Médio	1.9%	-2.4%	1.6%	-1.9%	12.3%	7.7%	10.3%	3.8%	3.8%	1.3%	0.0%	-	7.7%	1.3%	3.8%	6.2%	0.0%	-	5.3%	0.0%	3.3%

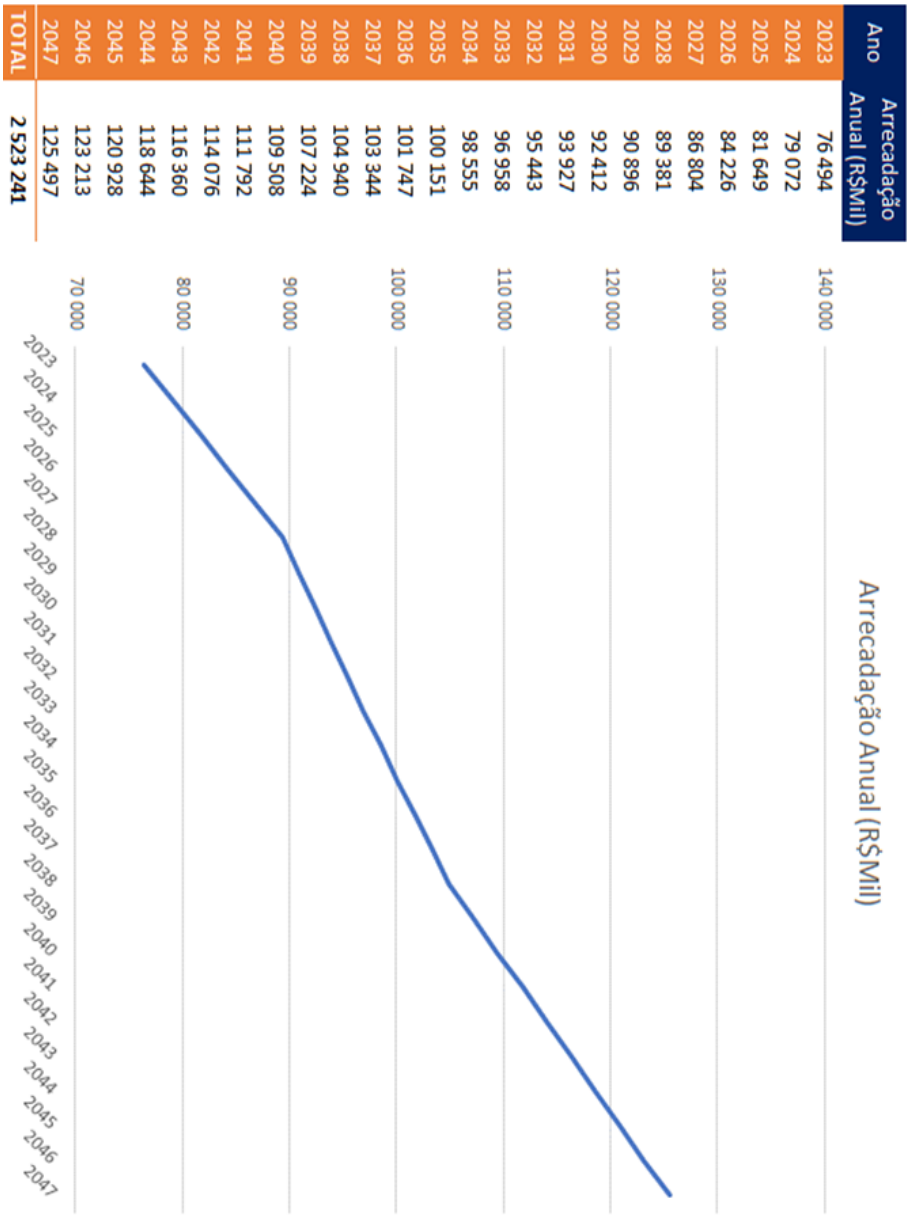


Ano	Arrecadação Anual (R$Mil)
2023	92 695
2024	94 313
2025	95 931
2026	97 549
2027	99 167
2028	100 785
2029	102 096
2030	103 406
2031	104 717
2032	106 027
2033	107 338
2034	109 243
2035	111 148
2036	113 054
2037	114 959
2038	116 864
2039	119 233
2040	121 601
2041	123 970
2042	126 338
2043	128 707
2044	131 075
2045	133 444
2046	135 812
2047	138 181
TOTAL	**2 827 653**

Figura 58 – Projeção de arrecadação anual (R$Mil), cenário base, com integração tarifária

Tabela 22 – Resultados das projeções, demanda diária do sistema e frota mínima necessária por linha e por tipo de barco, cenário sem integração tarifária

Ano	Passageiros/ Dia Útil	Frota Mínima Necessária por Linha-TipoBarco																Frota			Total
		1-gde	2-gde	3-peq	4-peq	5-peq	6-peq	7-peq	8-peq	9-peq	10-peq	11-peq	12-peq	13-peq	14-peq	15-peq	16-peq	aer	peq	gde	
2023	67 455	7	11	2	5	2	4	3	1	3	1	0	2	3	2	5	2	0	35	18	53
2024	69 728	7	11	2	5	2	5	3	1	3	1	0	2	3	2	5	2	0	36	18	54
2025	72 001	8	12	2	6	2	5	3	1	3	1	0	3	3	2	5	2	0	38	20	58
2026	74 274	8	12	2	6	2	5	3	1	3	1	0	3	3	2	5	2	0	38	20	58
2027	76 546	8	12	2	6	2	6	3	1	3	1	0	3	3	2	5	2	0	39	20	59
2028	78 819	8	12	2	6	2	6	3	1	3	1	0	3	3	2	5	2	0	39	20	59
2029	80 156	8	12	2	6	2	6	4	1	3	1	0	3	3	2	5	2	0	40	20	60
2030	81 492	8	12	2	6	2	7	4	1	3	1	0	4	3	2	5	2	0	42	20	62
2031	82 828	8	13	2	6	2	7	5	1	3	1	0	4	3	2	6	2	0	44	21	65
2032	84 165	8	13	1	6	2	7	5	1	3	1	0	4	3	2	6	2	0	43	21	64
2033	85 501	8	13	1	6	2	7	6	2	3	1	0	4	3	2	6	2	0	45	21	66
2034	86 909	8	13	1	7	2	7	6	2	3	1	0	4	3	2	6	2	0	46	21	67
2035	88 316	8	13	1	7	3	8	6	2	3	1	0	4	3	2	6	2	0	48	21	69
2036	89 724	8	13	1	7	3	8	6	2	3	1	0	4	3	2	7	2	0	49	21	70
2037	91 132	8	14	1	7	4	8	6	2	3	1	0	5	3	2	7	2	0	51	22	73
2038	92 540	8	14	1	8	4	8	6	2	3	1	0	5	3	2	7	2	0	52	22	74
2039	94 554	7	14	1	8	4	8	6	2	3	1	0	5	3	2	8	2	0	53	21	74
2040	96 568	7	14	1	9	4	8	7	2	3	1	0	5	3	2	9	2	0	56	21	77
2041	98 582	7	14	1	10	4	8	7	2	3	1	0	5	3	2	9	2	0	57	21	78
2042	100 596	6	15	1	11	4	9	7	2	3	1	0	5	3	2	10	2	0	60	21	81
2043	102 611	6	15	1	12	4	9	8	2	3	1	0	5	4	2	11	2	0	64	21	85
2044	104 625	6	15	1	13	4	9	8	2	3	1	0	5	4	2	12	2	0	66	21	87
2045	106 639	5	15	1	14	4	9	8	2	3	1	0	5	4	2	13	2	0	68	20	88
2046	108 653	5	16	1	15	4	9	8	2	3	1	0	5	4	2	13	2	0	69	21	90
2047	110 667	5	16	1	15	4	9	9	2	3	1	0	5	4	2	14	2	0	71	21	92
Crescimento Anual Médio	2.5%	-1.1%	1.7%	-1.9%	7.7%	3.8%	4.8%	7.7%	3.8%	0.0%	0.0%	-	5.8%	1.3%	0.0%	6.9%	0.0%	-	4.0%	0.6%	2.8%

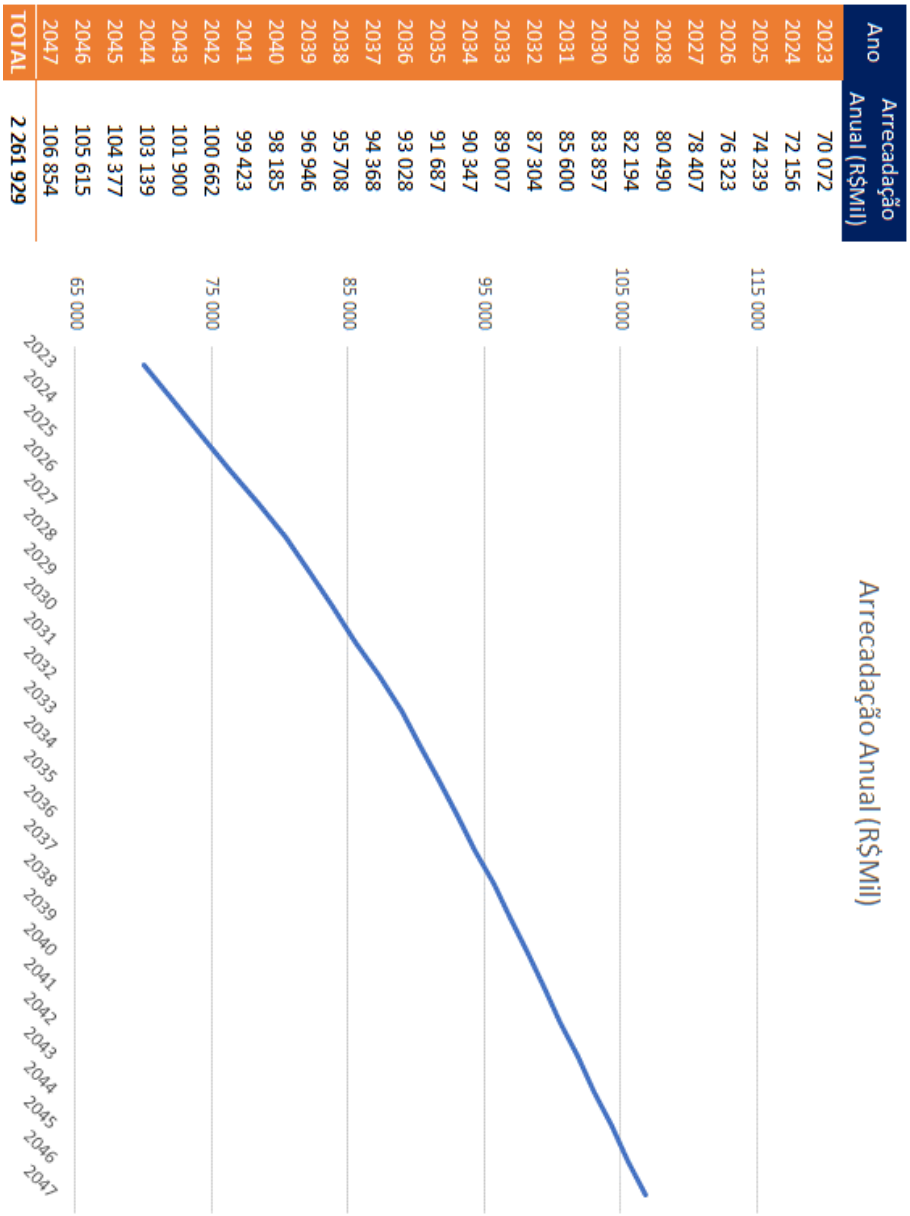


Ano	Arrecadação Anual (R$Mil)
2023	76 494
2024	79 072
2025	81 649
2026	84 226
2027	86 804
2028	89 381
2029	90 896
2030	92 412
2031	93 927
2032	95 443
2033	96 958
2034	98 555
2035	100 151
2036	101 747
2037	103 344
2038	104 940
2039	107 224
2040	109 508
2041	111 792
2042	114 076
2043	116 360
2044	118 644
2045	120 928
2046	123 213
2047	125 497
TOTAL	**2 523 241**

Figura 59 – Projeção de arrecadação anual (R$Mil), cenário sem integração tarifária

Tabela 23 – Resultados das projeções, demanda diária do sistema e frota mínima necessária por linha e por tipo de barco, cenário sem integração tarifária e com melhorias na Av. Eng. Souza Filho

Ano	Passageiros/ Dia Útil	Frota Mínima Necessária por Linha-TipoBarco																Frota		Total
		1-gde	2-gde	3-peq	4-peq	5-peq	6-peq	7-peq	8-peq	9-peq	10-peq	11-peq	12-peq	13-peq	14-peq	15-peq	16-peq	aer	peq	gde	
2023	61 792	5	11	2	5	2	4	4	1	3	1	0	2	3	2	5	2	0	36	16	52
2024	63 629	5	11	2	5	2	4	4	1	3	1	0	2	3	2	5	2	0	36	16	52
2025	65 467	6	12	2	5	2	5	5	1	3	1	0	2	3	2	5	2	0	38	18	56
2026	67 304	6	12	2	5	2	5	5	1	3	1	0	2	3	2	5	2	0	38	18	56
2027	69 142	6	12	2	5	2	5	6	1	3	1	0	3	3	2	5	2	0	40	18	58
2028	70 979	6	12	2	5	2	5	6	1	3	1	0	3	3	2	5	2	0	40	18	58
2029	72 481	6	12	2	5	2	5	6	1	3	1	0	3	3	2	5	2	0	40	18	58
2030	73 983	6	12	2	5	3	6	6	1	3	1	0	3	3	2	5	2	0	42	18	60
2031	75 485	6	12	2	5	3	6	6	1	3	1	0	3	3	2	5	2	0	42	18	60
2032	76 987	6	13	2	5	4	6	6	1	3	1	0	3	3	2	5	2	0	43	19	62
2033	78 489	6	13	2	5	4	6	6	1	3	1	0	3	3	2	5	2	0	43	19	62
2034	79 671	6	13	2	5	4	6	6	1	3	1	0	3	3	2	5	2	0	43	19	62
2035	80 853	6	13	2	5	4	7	6	1	3	1	0	4	3	2	5	2	0	45	19	64
2036	82 035	6	13	2	5	4	7	6	1	3	1	0	4	3	2	6	2	0	46	19	65
2037	83 217	6	13	2	5	4	7	6	1	3	1	0	4	3	2	6	2	0	46	19	65
2038	84 399	6	13	2	5	4	7	6	2	3	1	0	4	3	2	6	2	0	47	19	66
2039	85 491	6	13	1	5	4	7	6	2	3	1	0	4	3	2	6	2	0	46	19	65
2040	86 583	6	13	1	5	4	7	6	2	3	1	0	4	3	2	6	2	0	46	19	65
2041	87 675	6	13	1	5	4	8	6	2	3	1	0	4	3	2	7	2	0	48	19	67
2042	88 767	7	13	1	5	4	8	6	2	3	1	0	4	3	2	7	2	0	48	20	68
2043	89 859	7	13	1	6	4	8	6	2	3	1	0	4	4	2	7	2	0	50	20	70
2044	90 951	7	14	1	6	4	8	6	2	3	1	0	4	4	2	7	2	0	50	21	71
2045	92 043	7	14	1	6	4	8	6	2	3	1	0	4	4	2	7	2	0	50	21	71
2046	93 135	7	14	1	6	4	8	6	2	3	1	0	5	4	2	8	2	0	52	21	73
2047	94 227	7	14	1	6	4	8	6	2	3	1	0	5	4	2	8	2	0	52	21	73
Crescimento Anual Médio	2.0%	1.5%	1.0%	-1.9%	0.8%	3.8%	3.8%	1.9%	3.8%	0.0%	0.0%	-	5.8%	1.3%	0.0%	2.3%	0.0%	-	1.7%	1.2%	1.6%



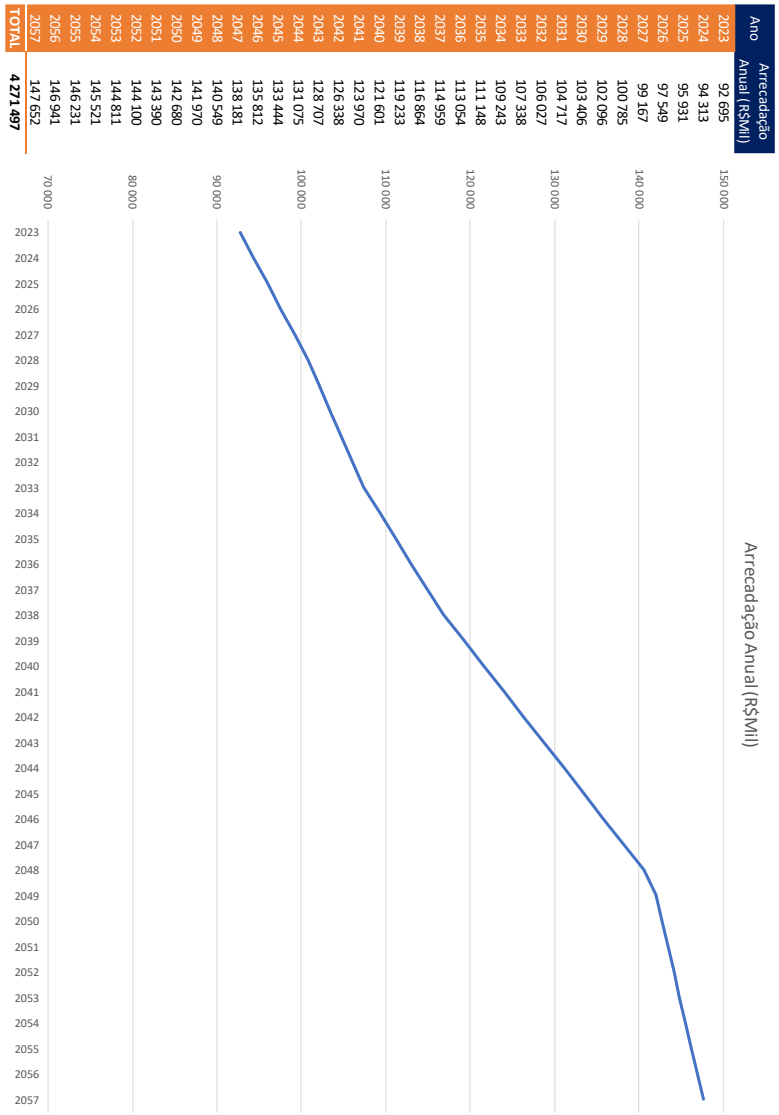
Ano	Arrecadação Anual (R$Mil)
2023	70 072
2024	72 156
2025	74 239
2026	76 323
2027	78 407
2028	80 490
2029	82 194
2030	83 897
2031	85 600
2032	87 304
2033	89 007
2034	90 347
2035	91 687
2036	93 028
2037	94 368
2038	95 708
2039	96 946
2040	98 185
2041	99 423
2042	100 662
2043	101 900
2044	103 139
2045	104 377
2046	105 615
2047	106 854
TOTAL	**2 261 929**

Figura 60 – Projeção de arrecadação anual (R$Mil), cenário sem integração tarifária e com melhorias na Av. Eng. Souza Filho

Por último, a projeção do cenário base foi estendida até 2057. Os resultados são apresentados na

Tabela 24 - Resultados da projeção estendida até 2057, demanda diária do sistema e frota mínima necessária por linha e por tipo de barco no cenário base

Ano	Passageiros/ Dia Útil	Frota Mínima Necessária por Linha-Tipo Barco																	Frota			Total
		1-gde	2-gde	3-peq	4-peq	5-peq	6-peq	7-peq	8-peq	9-peq	10-peq	11-peq	12-peq	13-peq	14-peq	15-peq	16-peq	aer	peq	gde	
2023	81 742	8	12	2	5	2	3	3	1	3	1	0	2	3	2	5	2	0	34	20	54
2024	83 169	8	12	2	5	3	3	3	1	3	1	0	2	3	2	5	2	0	35	20	55
2025	84 595	8	12	2	6	3	3	3	1	3	1	0	2	3	2	6	2	0	37	20	57
2026	86 022	8	12	2	6	3	4	3	1	3	1	0	2	3	2	6	2	0	38	20	58
2027	87 449	8	13	2	6	4	4	3	1	3	1	0	3	3	2	6	2	0	40	21	61
2028	88 876	8	13	2	6	4	4	3	2	3	1	0	3	3	2	6	2	0	41	21	62
2029	90 031	8	13	2	6	4	4	3	2	3	1	0	3	3	2	6	2	0	41	21	62
2030	91 187	8	13	2	6	4	4	3	2	3	1	0	3	3	2	6	2	0	41	21	62
2031	92 343	8	13	2	6	4	5	3	2	3	1	0	3	3	2	7	2	0	43	21	64
2032	93 498	8	14	1	6	4	5	3	2	3	1	0	3	3	2	7	2	0	42	22	64
2033	94 654	8	14	1	6	4	5	3	2	3	1	0	3	3	2	7	2	0	42	22	64
2034	96 334	8	14	1	7	4	5	3	2	3	1	0	4	3	2	8	2	0	45	22	67
2035	98 014	8	14	1	7	4	5	4	2	3	1	0	4	3	2	9	2	0	47	22	69
2036	99 695	8	14	1	7	4	5	4	2	3	1	0	4	3	2	9	2	0	47	22	69
2037	101 375	8	14	1	7	4	5	4	2	3	1	0	4	3	2	10	2	0	48	22	70
2038	103 055	8	14	1	8	4	6	5	2	3	1	0	5	3	2	11	2	0	53	22	75
2039	105 144	7	14	1	9	4	6	5	2	3	1	0	5	3	2	11	2	0	54	21	75
2040	107 232	7	15	1	11	4	7	5	2	3	1	0	5	3	2	11	2	0	57	22	79
2041	109 321	6	15	1	12	4	7	5	2	3	1	0	5	3	3	12	2	0	61	21	82
2042	111 409	6	15	1	14	5	8	5	2	4	1	0	5	3	3	12	2	0	65	21	86
2043	113 498	5	16	1	15	5	8	5	2	4	1	0	5	4	3	12	2	0	67	21	88
2044	115 587	5	16	1	17	5	9	5	2	4	1	0	5	4	3	12	2	0	70	21	91
2045	117 675	4	16	1	18	5	9	6	2	4	1	0	6	4	3	12	2	0	73	20	93
2046	119 764	4	16	1	20	6	10	6	2	4	1	0	6	4	3	13	2	0	79	20	99
2047	121 852	3	17	1	21	6	11	6	2	4	1	0	6	4	4	13	2	0	81	20	101
2048	123 941	3	17	1	23	6	11	6	2	5	1	0	6	4	4	13	2	0	84	20	104
2049	125 194	3	17	1	23	6	11	6	2	5	1	0	6	4	4	13	2	0	84	20	104
2050	125 820	3	17	1	23	6	12	6	2	5	1	0	6	4	4	13	2	0	85	20	105
2051	126 446	3	17	1	23	6	12	6	2	5	1	0	6	4	4	13	2	0	85	20	105
2052	127 073	3	17	1	23	6	12	6	2	5	1	0	6	4	4	13	2	0	85	20	105
2053	127 699	3	17	1	23	6	12	6	2	5	1	0	6	4	4	13	2	0	85	20	105
2054	128 325	3	17	1	23	6	12	6	2	5	1	0	6	4	4	13	2	0	85	20	105
2055	128 952	3	17	1	24	6	12	6	2	5	1	0	7	4	4	13	2	0	87	20	107
2056	129 578	3	17	1	24	6	12	6	2	5	1	0	7	4	4	13	2	0	87	20	107
2057	130 204	3	17	1	24	6	12	6	2	5	1	0	7	4	4	13	2	0	88	20	108
Crescimento Anual Médio	1,7%	-1,8%	1,2%	-1,4%	10,9%	5,7%	8,6%	2,9%	5,7%	1,9%	0,0%	-	7,1%	1,0%	2,9%	4,6%	0,0%	-	4,5%	0,0%	2,9%



Ano	Arrecadação Anual (R$Mil)
2023	92 695
2024	94 313
2025	95 931
2026	97 549
2027	99 167
2028	100 785
2029	102 096
2030	103 406
2031	104 717
2032	106 027
2033	107 338
2034	109 243
2035	111 148
2036	113 054
2037	114 959
2038	116 864
2039	119 233
2040	121 601
2041	123 970
2042	126 338
2043	128 707
2044	131 075
2045	133 444
2046	135 812
2047	138 181
2048	140 549
2049	141 970
2050	142 680
2051	143 390
2052	144 100
2053	144 811
2054	145 521
2055	146 231
2056	146 941
2057	147 652
TOTAL	**4 271 497**

Figura 61 - Projeção de arrecadação anual (R$Mil) estendida até 2057, cenário base, com integração tarifária

D.II.1.11) Dimensionamento dos píeres

A partir dos resultados obtidos para o Pico da Manhã, foram calculadas as quantidades de berços de parada necessários para cada píer do sistema (Figura 62). Os cálculos foram feitos considerando as diretrizes do manual de BRT, mas com algumas alterações.

Por ser um sistema de transporte aquaviário, a premissa é de que a manobrabilidade dos barcos seja mais complexa e lenta, fazendo com que os tempos de interface e parada dos barcos sejam maiores do que os 15 segundos normalmente adotados. Logo para os barcos grande porte, de 120 passageiros,

se estima, conservadoramente um tempo de interface de 35 segundos, enquanto para os barcos de pequeno porte e aerobarcos, esse tempo é de 25 segundos.

Normalmente se considera para sistemas convencionais em que a cobrança é feita pelo motorista, que o tempo médio de embarque por passageiro é de até 3 segundos. Para este sistema foi definido um tempo de embarque de 4 segundos por passageiro. O tempo de desembarque normalmente considerado é de 2 segundos, mas para este sistema se estima conservadoramente que serão 3 segundos por passageiro, lembrando que todos os barcos terão apenas um ponto de embarque e desembarque, como um ônibus que possui apenas uma porta para saída dos passageiros que ali estavam seguida da entrada dos passageiros que querem entrar na linha.

Para realizar a conta do mínimo de pontos de atracamento necessários por píer do sistema na hora crítica, deve-se multiplicar o número de passageiros que embarcam no píer pelo tempo médio de embarque, somar à multiplicação do número de passageiros que desembarcam pelo tempo médio de desembarque e somar ao tempo médio de interface do veículo com o píer multiplicado pelo número de veículos que param no mesmo.

A soma dessas contas deve ser dividida por 3600 segundos, ou o período de uma hora, para se identificar o nível de saturação que o píer terá no caso de ter apenas um atracadouro. Como medida garantidora da operação fluida do sistema, deve-se alocar um atracadouro adicional para cada 40% de saturação apurada. O que significa, por exemplo que se a saturação de um píer com hipoteticamente um único atracadouro resultar em 200%, deve-se então construir 5 atracadouros para que o píer atenda bem a demanda do sistema.

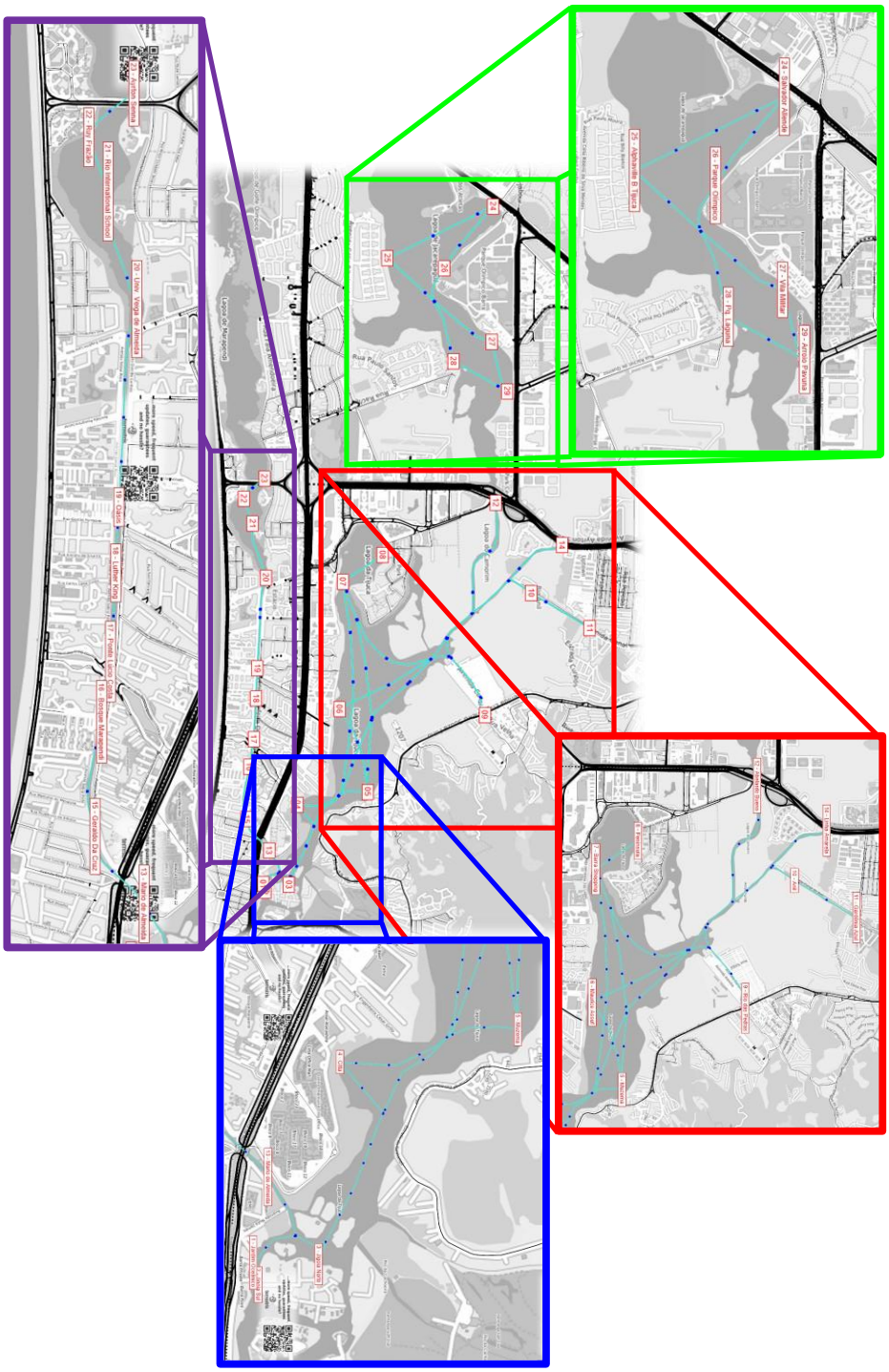


Figura 62 – Localização dos píeres no estudo de demanda

Tabela 25 apresenta os resultados encontrados para os mesmos, em função da operação prevista para as linhas propostas.

Tabela 25 – Dimensionamento de píeres do Complexo Lagunar

Seção	Parada		Embarques (Hora Pico)		Desembarques (Hora Pico)		Paradas de Veículos						Mínimo de Atracadores				Linhas Parando	Extensão Total Mínima da Parada (m)
			Sentido		Sentido		Sentido						Por Sentido		Por Tipo Veículo			
Núm	Nome		Norte/Oeste	Sul/Leste	Norte/Oeste	Sul/Leste	Norte/Oeste			Sul/Leste			Norte/Oeste	Sul/Leste	Maior	Menor		
							aer	gde	peq	aer	gde	peq						
LAGOA DA TIJUCA																		
1	Jardim Oceânico		316	95	58	3462	62	16	6	62	16	6	3	8	2	9	10	131
2	Jigoia Sul		58	0	0	95	0	0	3	0	0	3	1	1	0	2	1	20
3	Jigoia Norte		27	49	84	93	4	0	0	4	0	0	1	1	0	2	1	20
4	Citta		80	40	8	71	7	0	0	7	0	0	1	1	0	2	2	20
5	Muzema		53	192	132	132	16	0	0	14	0	0	1	2	0	3	6	31
6	Maurice Assuf		0	22	4	1	4	0	0	4	0	0	1	1	0	2	1	20
7	Barra Shopping		7	202	371	9	15	0	0	17	0	0	1	1	0	2	3	20
8	Península		0	192	10	0	8	0	0	8	0	0	1	1	0	2	2	20
9	Rio das Pedras		4037	0	0	524	15	32	0	15	32	0	13	2	10	5	4	223
10	Anil		0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	2	1	20
11	Gardênia Azul		0	113	2	0	5	0	0	5	0	0	1	1	0	2	2	20
12	Abelardo Bueno		0	15	0	21	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	1	9
13	Mario de Almeida		2	0	0	31	8	0	0	8	0	0	1	1	0	2	1	20
14	Linha Amarela		0	1387	1940	0	40	16	0	40	16	0	5	5	3	7	4	126
LAGOA DE MARAPENDI																		
15	Geraldo Da Cruz		9	3	1	9	8	0	0	8	0	0	1	1	0	2	1	20
16	Bosque Marapendi		7	156	94	113	8	0	3	8	0	3	1	1	0	2	2	20
17	Ponte Lúcio Costa		2	66	7	0	8	0	0	8	0	0	1	1	0	2	1	20
18	Luther King		11	18	0	0	8	0	0	8	0	0	1	1	0	2	1	20
19	Oásis		0	33	15	1	8	0	0	8	0	0	1	1	0	2	1	20
20	Univ. Veiga de Almeida		0	23	0	0	8	0	0	8	0	0	1	1	0	2	1	20
21	Rio International School		0	0	0	0	8	0	0	8	0	0	1	1	0	2	1	20
22	Ruy Frazão		0	71	3	13	8	0	0	8	0	0	1	1	0	2	1	20
23	Ayrton Senna		0	19	0	0	8	0	0	8	0	0	1	1	0	2	1	20
LAGOA JACAREPAGUA																		
24	Salvador Allende		0	11	26	0	6	0	0	6	0	0	1	1	0	2	1	20
25	Alphaville B.Tijuca		16	31	9	4	3	0	0	3	0	0	1	1	0	2	1	20
26	Parque Olímpico		4	1	0	1	3	0	0	3	0	0	1	1	0	2	1	20
27	Vila Militar		0	4	0	0	3	0	0	3	0	0	1	1	0	2	1	20
28	Pq. Laguna		5	31	23	5	3	0	0	3	0	0	1	1	0	2	1	20
29	Arroio Pavuna		30	0	65	0	6	0	0	3	0	0	1	0	0	1	1	9
TOTAIS DO SISTEMA			**4664**	**2777**	**2856**	**4585**	**281**	**64**	**12**	**277**	**64**	**12**	**46**	**41**	**15**	**72**	**55**	**989**