

ANEXO 6 – ESTUDOS DE DEMANDA

1.	Introdução	3
2.	Zoneamento	3
3.	Indicadores Socioeconômicos	5
3.1.	Novas quadras do <i>Porto Maravilha</i>	16
3.1.1.	População e quantidade de domicílios	16
3.1.2.	Empregos.....	17
3.1.3.	Matrículas escolares.....	17
3.2.	Área consolidada no <i>Porto Maravilha</i>	17
3.2.1.	População e quantidade de domicílios	18
3.2.2.	Empregos.....	18
3.2.3.	Matrículas escolares.....	18
3.3.	Fora do Porto Maravilha	18
3.4.	Análise dos indicadores socioeconômicos.....	19
4.	Estimativa de Demanda do VLT	26
4.1.	Geração de viagens	28
4.2.	Distribuição das viagens.....	32
4.3.	Divisão modal.....	34
4.3.1.	Objetivo da Modelagem.....	35
4.3.2.	Os objetos das escolhas e a formação do conjunto de alternativas.....	35
4.3.3.	Conjunto de atributos avaliados na decisão.....	35
4.3.4.	Descrição do modelo para migração do automóvel para o VLT.....	36
4.3.5.	Descrição do modelo para migração do coletivo para o VLT	37
4.3.6.	Considerações gerais sobre a modelagem.....	38
4.4.	Alocação	40
5.	Resultados	41
5.1.	Demanda potencial.....	42
5.2.	Bloqueio de acesso	44

VLT do Rio

5.3. Demanda potencial corrigida	44
5.4. Quantidade de passageiros	44

VLT do Rio

1. INTRODUÇÃO

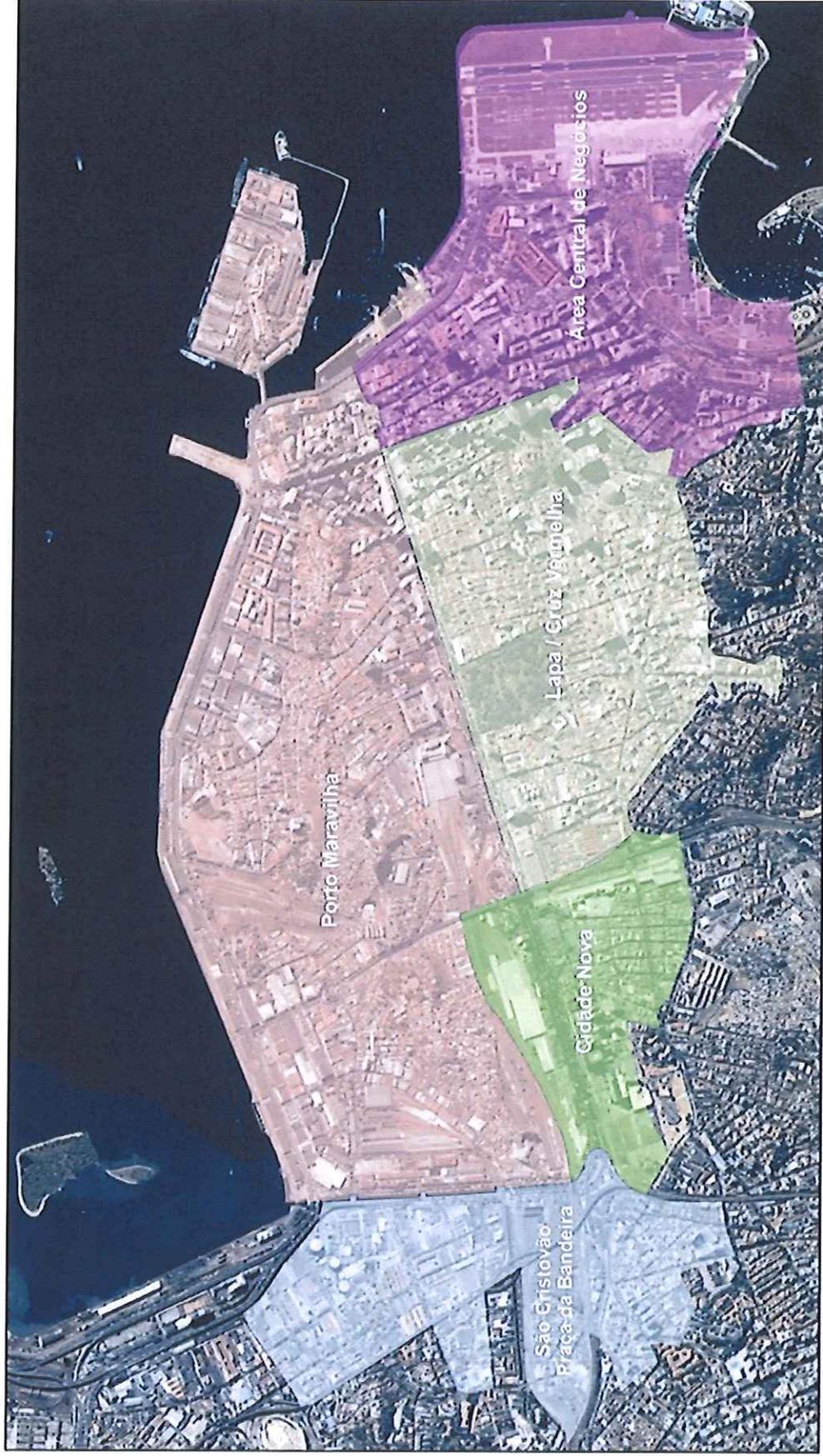
Este documento contém os Estudos de Demanda do projeto *VLT do Rio*. Consiste na apresentação das metodologias, premissas e indicadores utilizados, além dos resultados encontrados.

2. ZONEAMENTO

Inicialmente, definiu-se uma área de estudo para o presente trabalho, que vai além da área do projeto *Porto Maravilha*. Tal área de estudo foi dividida em distritos, conforme a figura a seguir.



Figura 2.1 – Área de estudo e seus distritos



VLT do Rio

Em um nível mais detalhado, considerou-se a partição dos distritos em zonas de tráfego. As zonas consideradas foram as do Plano Diretor de Transportes Urbanos da Cidade do Rio de Janeiro / 2005 (PDTU), de forma a utilizar-se os dados daquele plano.

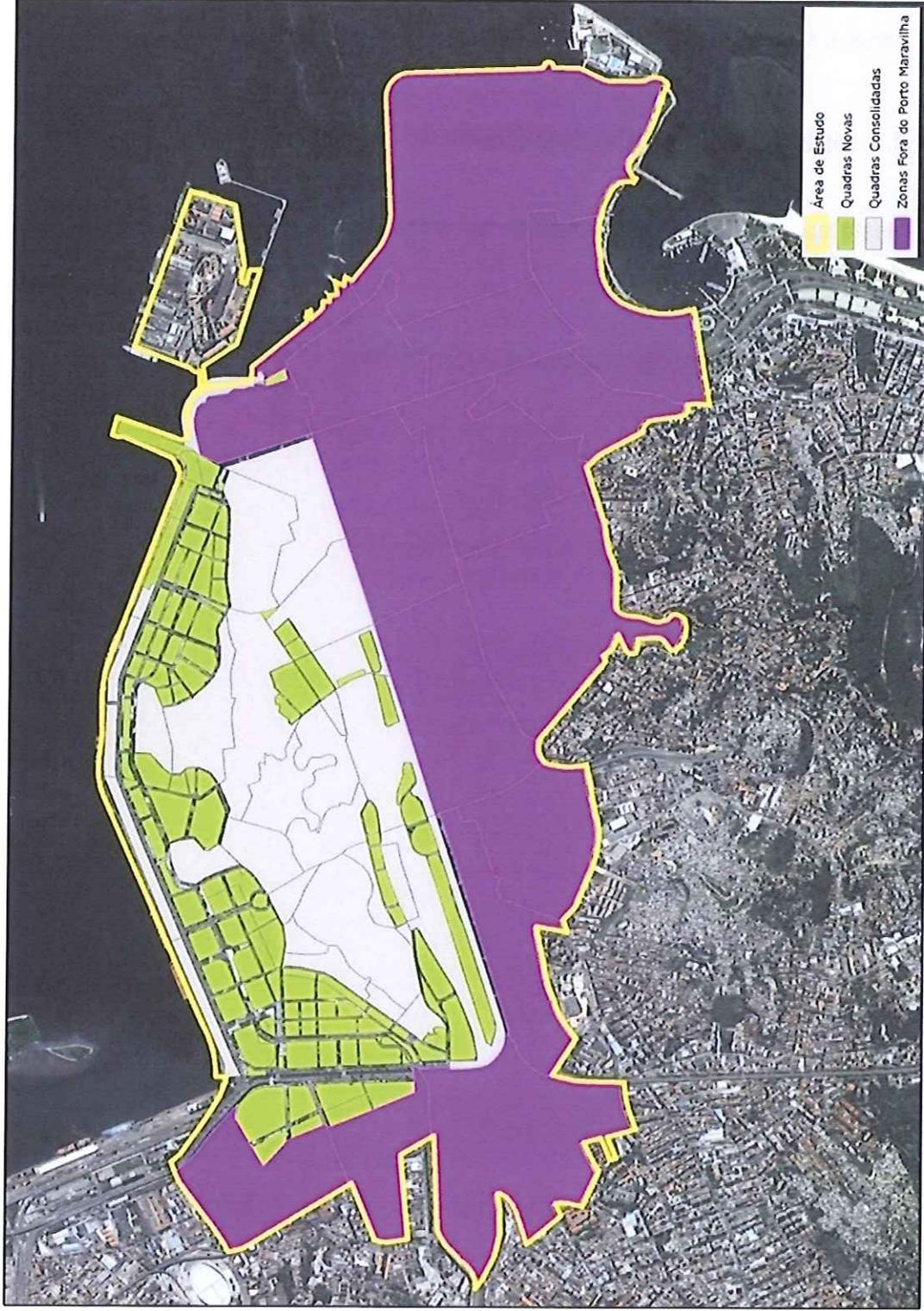
3. INDICADORES SOCIOECONÔMICOS

Neste capítulo serão apresentados os indicadores socioeconômicos utilizados nos estudos de demanda.

A área de estudo foi dividida em três tipos de local:

- novas quadras do *Porto Maravilha*;
- área consolidada no *Porto Maravilha*;
- fora do *Porto Maravilha*.

Figura 3.1 – Área de Estudo



VLT do Rio

Para as novas quadras do *Porto Maravilha* adotaram-se, como premissa, os cenários apresentados pela Prefeitura.

Para os outros locais, seguiu-se a tendência histórica de crescimento observada nos últimos anos.

Os indicadores utilizados no modelo são:

- população;
- classe econômica;
- empregos;
- matrículas escolares;
- quantidade de domicílios.

O cenário com a tipologia de uso adotada para as áreas do *Porto Maravilha* pode ser visualizado na figura a seguir.

Figura 3.2 – Tipologia de uso – Porto Maravilha



VLT do Rio

Nas figuras a seguir observa-se a distribuição (apenas para as novas quadras) das áreas residenciais conforme a classe econômica e das áreas comerciais conforme o padrão (sendo que o padrão A é para uso de grandes empresas e o padrão B é para uso de pequenas e médias empresas e profissionais liberais).

Nas quadras de uso misto adotou-se a premissa de 80% de uso comercial (padrão B) e 20% de uso residencial (classe econômica B).

Em seguida, apresentam-se as cenas de ocupação nos anos de 2016, 2021, 2026 e 2031 para a área do *Porto Maravilha*. Ressalta-se que foram seguidos os cenários elaborados pela Prefeitura, considerando-se uma ocupação máxima de 90%.

Figura 3.3 – Áreas residenciais por classe econômica



Figura 3.4 – Áreas comerciais por padrão



Figura 3.5 – Cenário 2016



Figura 3.6 – Cenário 2021



Figura 3.7 – Cenário 2026



Figura 1.3.8 – Cenário 2031



VLT do Rio

Uma premissa importante a ser destacada é que será utilizado todo o potencial construtivo definido para cada área; ou seja: se determinada área teve um CAM máximo de 11,0 - conforme definido no projeto *Porto Maravilha* - para a obtenção da quantidade de metros quadrados utilizados naquela área, multiplicou-se a área da quadra por 11.

Ao analisar os resultados, verificou-se que o valor final de metros quadrados adicionais não foi superior ao estabelecido na Lei.

3.1. Novas quadras do *Porto Maravilha*

Para o cálculo dos indicadores socioeconômicos nas novas quadras do *Porto Maravilha*, consideraram-se as premissas apresentadas acima e as descritas a seguir.

3.1.1. População e quantidade de domicílios

Tomou-se a área de uso residencial (em m²), e dividiu-se pelo tamanho médio do domicílio. Obteve-se então a quantidade de domicílios. Multiplicou-se este valor pela quantidade de pessoas por domicílio e chegou-se à população residente.

As premissas foram as seguintes:

- o tamanho médio de domicílio em metros quadrados, por classe econômica, foi obtido em consultas ao mercado imobiliário;
- a quantidade de pessoas por domicílio é a média da Cidade do Rio de Janeiro, de acordo com o Censo 2010.

Tabela 3.1.1.1 – Premissas para cálculo de indicadores de áreas residenciais

Classe Econômica	Tamanho médio de domicílio (m²)	Pessoas/domicílio
B	95	3,04
C	50	3,04
D	47	3,04

VLT do Rio

3.1.2. Empregos

Para os locais de uso comercial, tomou-se a área (em m²), considerou-se as premissas de tamanho médio de sala comercial e quantidade de funcionários por m² (tabela a seguir), e obteve-se a quantidade de empregos.

Tabela 3.1.2.1 – Premissas para cálculo de indicadores de áreas comerciais

Padrão	Tamanho médio de sala comercial (m²)	Área por funcionário (m²)
A	300	9
B	150	7

3.1.3. Matrículas escolares

Tomou-se a quantidade de matrículas escolares projetada pelo PDTU, por Região Administrativa, distribuídas, espacialmente, de acordo com a população por quadra. No caso da quadra em que se localizarão as novas instalações do EMERJ, somaram-se as 1.200 matrículas previstas para este local.

3.2. Área consolidada no *Porto Maravilha*

Conforme comentado anteriormente, para a área consolidada no *Porto Maravilha*, seguiu-se a tendência histórica.

Cabe ressaltar que, a partir da divulgação da população da Cidade do Rio de Janeiro segundo o Censo/2010, e na falta de estudos mais recentes com a projeção de dados por bairros, desenvolveu-se um cenário de projeção de população por bairro, a ser utilizado como base tendencial.

Tal cenário considera:

- a tendência da evolução do total da população da cidade;
- a tendência do percentual de participação de cada bairro no total da população da cidade;
- os novos parâmetros urbanísticos definidos pelo Plano Diretor.

VLT do Rio

Da mesma forma, desenvolveu-se um cenário para a projeção da quantidade de empregos na cidade, com base na Pesquisa Mensal de Empregos (PME), do IBGE. Além disso, projetou-se o percentual de participação de cada bairro no total de empregos formais da cidade.

Vale ressaltar que, como o histórico de empregos por bairro considera apenas os empregos formais e o indicador que se precisa para o estudo de demanda é a quantidade de empregos totais, há que se saber que existe um viés ao considerar que o percentual de empregos totais no bairro é equivalente ao percentual de empregos formais no bairro; no entanto, este será o dado utilizado por duas razões: (1) não se obteve outro dado disponível; (2) entende-se que no centro da cidade (área de estudo), esta diferença não é significativa a ponto de comprometer os resultados do trabalho.

3.2.1. População e quantidade de domicílios

Relacionou-se cada uma das áreas consolidadas a setores censitários do Censo/2000, de forma que se pudesse calcular a sua participação no total da população do bairro. Obteve-se então a população por área.

Em seguida, fez-se algumas correções para os anos futuros, a partir de informações obtidas de projetos apresentados pela Secretaria Municipal de Habitação (SMH).

3.2.2. Empregos

Calculou-se o percentual de empregos da zona em relação ao total do bairro. O total do bairro foi obtido a partir da metodologia apresentada anteriormente.

3.2.3. Matrículas escolares

Tomou-se a quantidade de matrículas escolares projetada pelo PDTU por Região Administrativa, e distribuiu-se, espacialmente, de acordo com a população por zona.

3.3. Fora do Porto Maravilha

Para os locais fora do Porto Maravilha, seguiu-se a mesma metodologia utilizada para as áreas consolidadas.

VLT do Rio

Acredita-se que o desenvolvimento de novas quadras no *Porto Maravilha* deverá causar um efeito multiplicador, conhecido como efeito dominó, nas áreas consolidadas e fora da área do projeto, mas este efeito não foi considerado por ser de difícil mensuração.

3.4. Análise dos indicadores socioeconômicos

Nas tabelas a seguir observam-se os resultados do modelo para a área de estudo, agregados por bairro. Ressalta-se que para os bairros da Glória e São Cristóvão deve-se ter cautela na análise, pois apenas parte destes bairros se encontra nesta área. (figura abaixo).

Tabela 3.4.1 - Projeção da população da área de estudo

	2011	2016	2021	2026	2031
Centro	26.001	20.238	20.441	22.571	23.715
Cidade Nova	3.754	2.940	2.970	2.983	2.985
Gamboa	5.725	11.623	12.424	15.582	16.832
Glória	627	562	568	570	571
Praça da Bandeira	7.677	6.787	5.804	5.141	5.143
Santo Cristo	7.571	9.194	22.447	23.430	23.434
São Cristóvão	1.397	2.354	8.753	9.746	9.747
Saúde	1.416	624	630	634	634
Área de Estudo	54.168	54.322	74.037	80.657	83.061

Tabela 3.4.2 - Projeção dos empregos da área de estudo

	2011	2016	2021	2026	2031
Centro	832.863	828.819	819.081	813.337	806.023
Cidade Nova	209.691	276.305	327.302	400.889	451.774
Gamboa	4.823	32.612	42.575	56.939	60.657
Glória	1.162	1.175	1.176	1.173	1.169
Praça da Bandeira	9.087	8.102	7.253	6.541	5.948
Santo Cristo	15.242	100.831	156.905	227.673	246.747
São Cristóvão	14.373	27.485	143.295	160.430	159.982
Saúde	16.258	58.675	58.299	58.019	57.785
Área de Estudo	1.103.499	1.334.004	1.555.886	1.725.001	1.790.085

Tabela 3.4.3 - Projeção da quantidade de domicílios na área de estudo

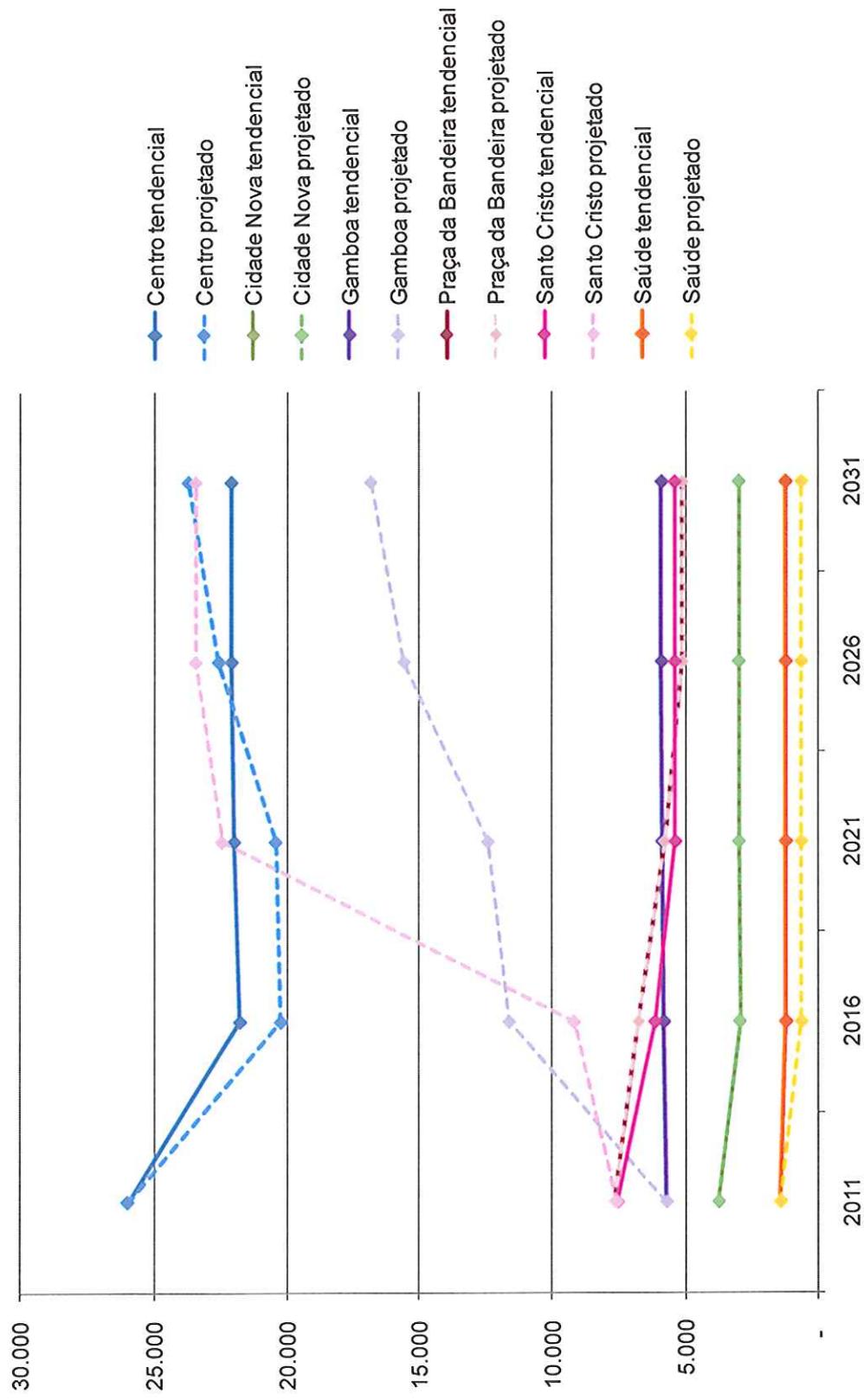
	2011	2016	2021	2026	2031
Centro	8.554	6.656	6.725	7.424	7.802
Cidade Nova	1.235	967	977	981	981
Gamboa	1.884	3.823	4.087	5.125	5.536
Glória	206	185	187	188	188
Praça da Bandeira	2.525	2.233	1.909	1.691	1.692
Santo Cristo	2.490	2.993	7.353	7.675	7.677
São Cristóvão	460	774	2.879	3.206	3.206
Saúde	466	205	207	209	209
Área de Estudo	17.820	17.836	24.324	26.499	27.291

Tabela 3.4.4 - Projeção das matrículas na área de estudo

	2011	2016	2021	2026	2031
Centro	49.725	47.740	48.886	51.612	56.964
Cidade Nova	3.034	3.134	3.209	3.367	3.704
Gamboa	2.895	2.991	3.063	3.216	3.536
Glória	455	470	482	505	556
Praça da Bandeira	2.531	2.614	2.677	2.808	3.090
Santo Cristo	2.657	3.944	4.013	4.150	4.444
São Cristóvão	592	1.187	3.904	4.398	4.836
Saúde	601	621	636	667	734
Área de Estudo	62.490	62.701	66.870	70.723	77.864

Como a ocupação das novas quadras afeta principalmente as projeções de população e empregos, nos gráficos, a seguir, verifica-se a diferença entre os valores projetados e a tendência histórica para os bairros que estão totalmente inseridos na área de estudo.

Gráfico 3.4.1 – Projeção de população por bairro



VLT do Rio

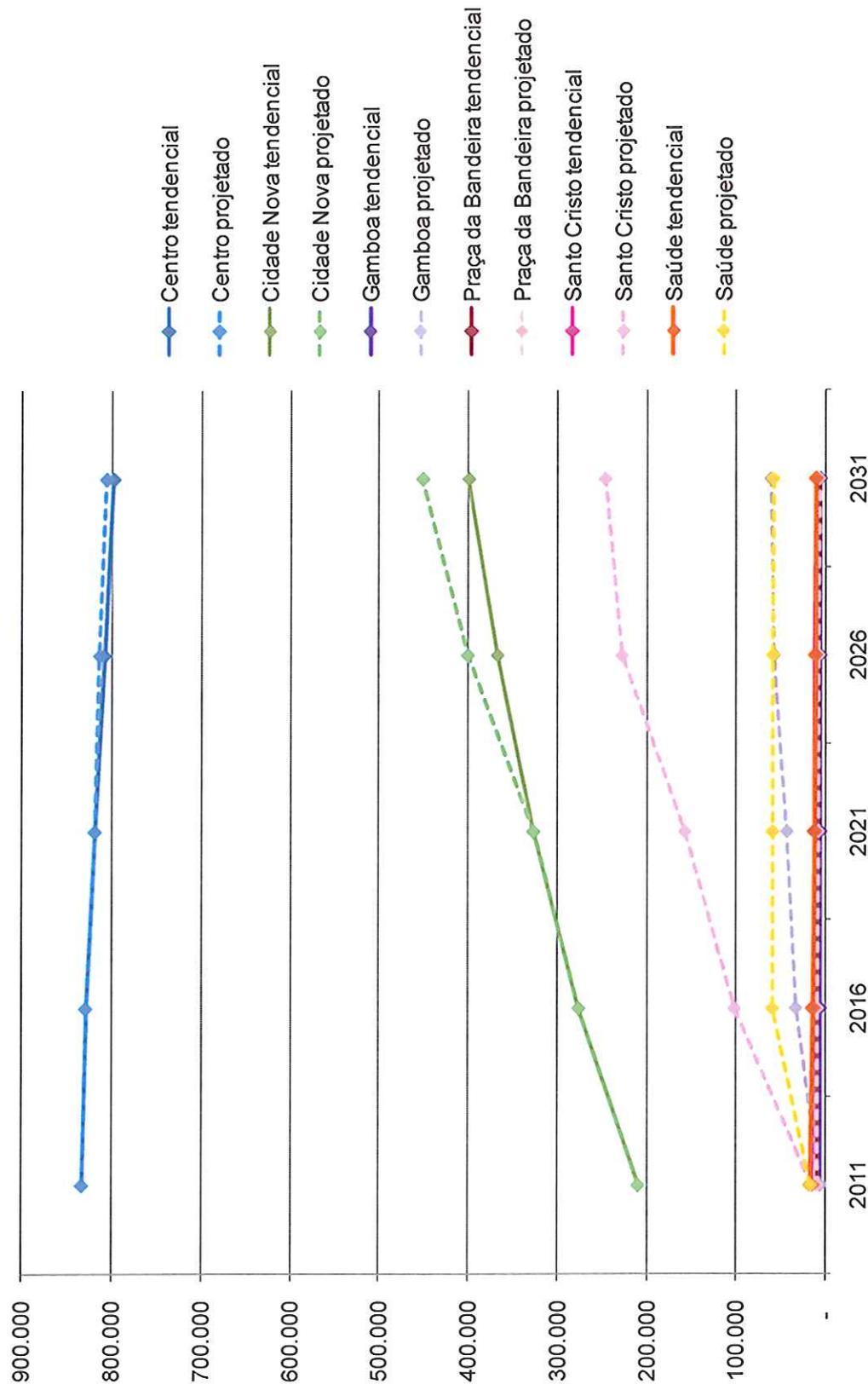
Verifica-se um grande crescimento da população nos bairros da Gamboa e Santo Cristo, em função da ocupação das novas quadras do *Porto Maravilha*.

Na Saúde, por outro lado, locais hoje ocupados por residências passariam a ter outros usos, o que justifica a ligeira diferença na população do modelo projetado em relação ao tendencial.

No Centro, cabe comentar que a diferença inicial (valor projetado menor do que o tendencial em 2016 e 2021) se dá devido à premissa de 0% de ocupação das novas quadras do Porto Maravilha neste bairro, nestes anos.

Isso ocorre porque considerou-se que, quando é adotada ocupação de 0%, a ocupação atual deixa de existir, na medida em que há um período de adaptação do uso do solo. Obs: os imóveis atuais serão desocupados, em seguida demolidos, faz a obra, vendem-se os imóveis e volta a existir a ocupação no local.

Gráfico 3.4.2 – Projeção de empregos por bairro



VLT do Rio

No caso dos empregos, verifica-se um acréscimo da sua quantidade ao comparar os cenários tendencial e projetado. Isso se deve à grande ocupação de novas áreas comerciais no *Porto Maravilha*.

É importante ressaltar a premissa de que estes novos empregos serão atraídos de fora da Cidade do Rio de Janeiro e também de outros bairros da cidade, que ficam fora da área de estudo. Ou seja, não considerou-se, por exemplo, a transferência de empregos do Centro tradicional para o *Porto Maravilha*; neste cenário, este novo pólo não “canibaliza” o restante da área central da Cidade.

4. ESTIMATIVA DE DEMANDA DO VLT

A determinação da demanda do futuro sistema de VLT's apresenta dois complicadores: o ineditismo da proposta no Rio de Janeiro e a profundidade das alterações no uso do solo da área de estudo.

Por ser um sistema de transporte frequentemente referido como “bonde”, no Rio de Janeiro as pessoas costumam associar a imagem de um VLT ao antigo sistema de transportes para conexão quase predominantemente turística ao tradicional bairro de Santa Teresa – o “bondinho”. Este fato dificulta, consideravelmente, o processo de identificação dos usuários potenciais durante as pesquisas de campo, como será abordado mais adiante.

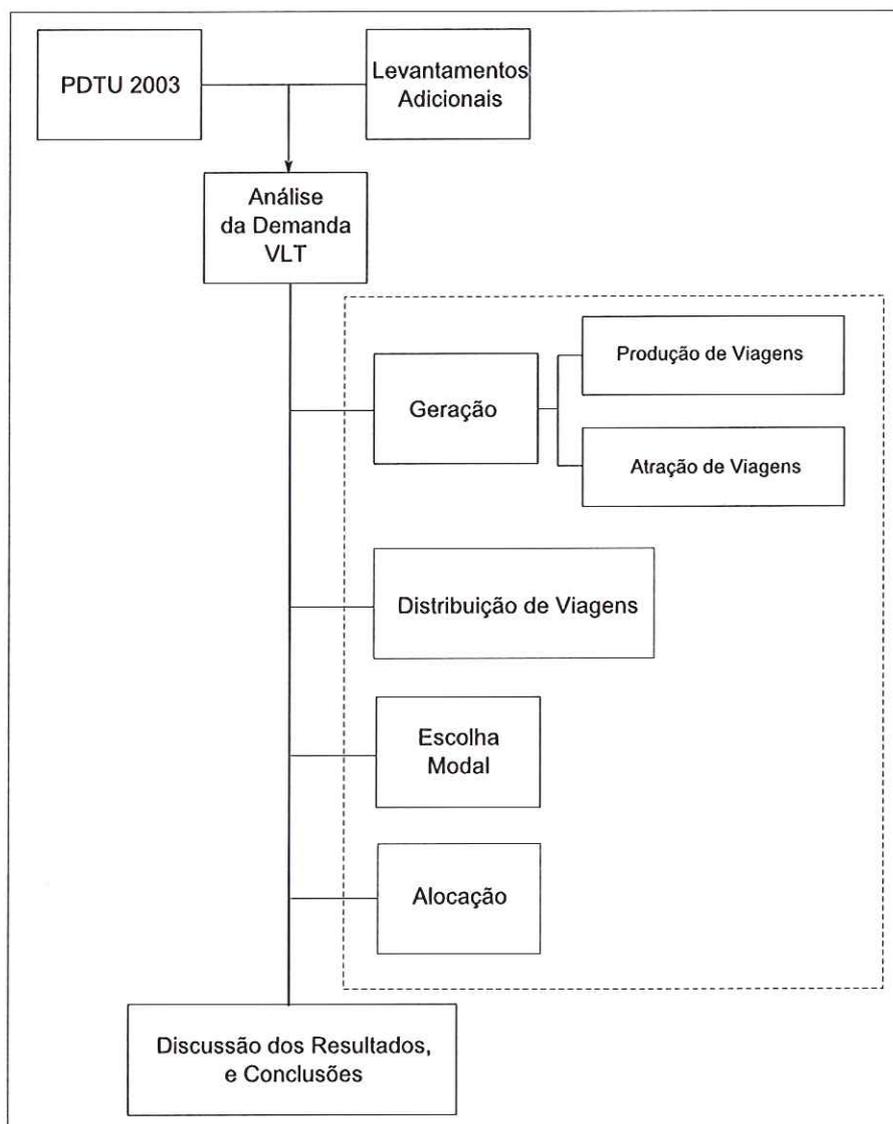
A relação entre uso do solo e transportes já foi amplamente discutida e comprovada em diversas publicações e estudos. Como não poderia ser diferente, as alterações propostas para a área de estudo certamente resultarão em impacto sobre o seu padrão de viagens. Isto significa que não haverá apenas o reequilíbrio da matriz de divisão modal ao se implantar o VLT, mas também uma mudança nos motivos de viagens, suas origens e destinos.

Assim, não bastaria utilizar diretamente pesquisas e estudos já existentes para estimar a demanda em questão. Para contornar este problema, optou-se por adotar o clássico modelo de quatro etapas com base nos dados do PDTU/2005. Entretanto, como seu banco de dados foi levantado em 2003, novas pesquisas foram efetuadas para atualização e serão mencionadas quando relevante.

VLT do Rio

Para estimar o contingente de usuários potenciais da opção modal do veículo leve sobre trilhos na área de estudo foi aplicada a abordagem tradicional do modelo de quatro etapas, constituído de quatro passos sequenciais para análise da demanda: geração de viagens, distribuição de viagens, escolha modal e alocação das viagens às rotas, conforme apresentado no diagrama da figura a seguir.

Figura 4.1 – Diagrama do método aplicado para análise da demanda do VLT (método de quatro etapas)



*VL*T do Rio

4.1. Geração de viagens

Na primeira etapa, geração de viagens, medidas das frequências dos deslocamentos são realizadas. As viagens são representadas como deslocamentos terminais em centróides das zonas de tráfego, com distinção para as viagens produzidas e atraídas.

Para estimação dos volumes de viagens produzidos e atraídos são aplicados modelos que estimam as quantidades de viagens baseadas em características da população e das zonas, por exemplo, número de empregos, população, dentre outras.

O modelo de geração de viagens do PDTU considerou quatro motivos de viagens, sendo três com base domiciliar, somente para as viagens motorizadas. As viagens com base domiciliar (trabalho, estudo e outros) foram consideradas produzidas nas zonas em que se situassem os domicílios das pessoas e, conseqüentemente, atraídas pela zona em que se situasse o outro extremo das viagens.

As viagens com base não domiciliar foram, por convenção, consideradas produzidas na zona de origem e atraídas pela zona de destino, conforme os resultados originais da pesquisa domiciliar de origem e destino.

Enquanto para os motivos de viagens com base domiciliar foram utilizados modelos desagregados de análise de categorias, adotou-se metodologia diferenciada para as viagens com base não domiciliar. Para este motivo adotou-se um modelo baseado em regressão linear, considerando-se como variáveis independentes os totais de empregos de cada zona de tráfego.

As variáveis passíveis de explicar a demanda de transporte, tais como tamanho da família, posse de automóveis e renda da família, foram analisadas com auxílio de técnicas de segmentação. A identificação de interações relevantes entre as variáveis descritas acima foi feita utilizando o sistema Chi-squared Automatic Interaction Detector (CHAID), que consiste em um procedimento para modelagem de segmentação de variáveis baseado em critérios homogêneos com relação a uma variável dependente, e definidos como combinações de variáveis independentes.

No sistema CHAID, os resultados são apresentados em forma de árvore, o que torna fácil a compreensão da segmentação estabelecida e a análise da consistência dos resultados.

VLT do Rio

Para a obtenção das classes de renda da população na área de estudo utilizou-se o Critério de Classificação Econômica adotado pela ABA, ANEP e ABIPEME. Este procedimento atribui uma série de pontos indicadores de conforto familiar e também ao grau de instrução do chefe da família. De posse da somatória destes pontos é possível dividir o total de famílias segundo sua classe de renda.

A aplicação do CHAID ao banco de dados com todas as famílias produziu o resultado de segmentação descrito a seguir:

- Tamanho de família:
 - 1 – 1 morador;
 - 2 – 2 moradores;
 - 3 – 3 moradores;
 - 4 – 4 moradores;
 - 5 – 5 ou mais moradores.

- Classe de renda:
 - 1 – Classe E;
 - 2 – Classe D;
 - 3 – Classe C;
 - 4 – Classe B;
 - 5 – Classe A.

- Posse de automóvel na família:
 - 0 – sem posse;
 - 1 – com posse.

A tabela a seguir mostra as taxas familiares diárias de produção de viagens para os motivos de viagem baseados no domicílio. Uma das conclusões do PDTU é que a posse de veículo não afetaria estas taxas, como se pode observar nessa tabela.

Neste caso, não foi necessário buscar informações sobre a posse de veículo das pessoas nas áreas estudadas, tampouco tentar definir a variação deste indicador para horizontes futuros.

Tabela 4.1.1 – Taxas familiares diárias de produção de viagens

Classes Familiares			Taxa de Geração de Viagens BDT	Taxa de Geração de Viagens BDE	Taxa de Geração de Viagens BDO
Número de Moradores	Classe de Renda	Posse de Automóvel	Modos Motorizados	Modos Motorizados	Modos Motorizados
1	1	0/1	0,35	0,04	0,44
2	1	0/1	0,98	0,11	0,73
3	1	0/1	1,31	0,58	0,76
4	1	0/1	1,46	0,80	0,55
5 ou mais	1	0/1	1,46	1,43	0,77
1	2	0/1	0,58	0,03	0,75
2	2	0/1	1,21	0,19	0,67
3	2	0/1	1,67	0,52	0,64
4	2	0/1	1,94	0,93	0,56
5 ou mais	2	0/1	2,02	1,45	0,58
1	3	0/1	0,94	0,04	0,87
2	3	0/1	1,61	0,26	1,41
3	3	0/1	2,32	0,88	1,04
4	3	0/1	2,66	1,36	0,99
5 ou mais	3	0/1	3,07	1,54	1,07
1	4	0/1	0,94	0,03	1,01
2	4	0/1	1,88	0,35	1,51
3	4	0/1	2,99	1,21	1,24
4	4	0/1	3,18	2,24	1,28
5 ou mais	4	0/1	3,84	2,73	1,45
1	5	0/1	1,44	0,00	1,13
2	5	0/1	2,85	0,26	2,02
3	5	0/1	3,26	1,31	2,14
4	5	0/1	3,70	2,31	1,34
5 ou mais	5	0/1	4,40	2,94	2,50

Fonte: PDTU

Como esperado, as características familiares não explicam as viagens com base não domiciliar, para as quais se adotou um modelo baseado em regressão linear. Conforme disposto no PDTU, consideraram-se como variáveis independentes os totais de empregos de cada zona de tráfego, uma vez que as outras variáveis testadas não se mostraram representativas. Sendo assim, o total de viagens produzidas seria calculado através da seguinte equação:

$$P_i^4 = 0,1808 \times E_i$$

Onde:

P_i^4 = total de produção da zona “i” pelo motivo 4 (base não domiciliar)

E_i = total de empregos na zona “i”

0,1808 = parâmetro estimado

VLT do Rio

De modo similar ao adotado na especificação do modelo de produção de viagens para o motivo de viagens, com base não domiciliar, para a definição dos modelos de atração de viagens para os diversos motivos de viagem analisados, foram realizados testes estatísticos para avaliar o quanto as variáveis explicativas eram capazes de descrever o comportamento da variável dependente.

Modelos de regressão são os mais utilizados na estimativa dos volumes de viagens atraídas por zona de tráfego, em função da alta correlação entre viagens realizadas e as variáveis explicativas tais como empregos, matrículas escolares e renda. No caso do PDTU, os modelos foram divididos em nove grupos distintos:

- base domicílio trabalho com classes de renda A e B e posse de automóvel;
- base domicílio trabalho com classes de renda A e B e sem posse de automóvel;
- base domicílio trabalho com classes de renda C, D e E e posse de automóvel;
- base domicílio trabalho com classes de renda C, D e E e sem posse de automóvel;
- base domicílio estudo com posse de automóvel;
- base domicílio estudo sem posse de automóvel;
- base domicílio outros com posse de automóvel;
- base domicílio outros sem posse de automóvel;
- base não domiciliar.

Diferentemente dos modelos de geração, portanto, os modelos de atração são diferenciados no caso de posse de automóvel. Sendo assim, estabeleceu-se como premissa que as classes de renda A, B e C teriam automóvel, ao contrário das classes D e E. A equação geral para os modelos de atração é apresentada a seguir.

$$A_i^j = C_1 \times P_i + C_2 \times M_i + C_3 \times E_i$$

Onde:

A_i^j = atração de viagens na zona "i" para um dado motivo "j"

P_i = população na zona "i"

M_i = matrículas escolares existentes na zona "i"

E_i = empregos existentes na zona "i"

C_1 , C_2 e C_3 = constantes estimadas para cada um dos modelos

VLT do Rio

Para estimar a demanda não motorizada – excluída destes modelos – aplicou-se os percentuais representativos da matriz de divisão modal existentes para a região central, apresentados também no PDTU.

Os resultados obtidos por estes modelos de geração foram aplicados, então, sobre os modelos de distribuição apresentados a seguir.

4.2. Distribuição das viagens

Na segunda etapa, distribuição de viagens, os deslocamentos produzidos e atraídos nas zonas de tráfego, obtidos na primeira etapa, são distribuídos entre os pares de origem e destino das viagens, através de um modelo matemático de interação.

Nesta etapa, a aplicação do modelo é uma tentativa de reproduzir o comportamento dos usuários em relação as suas origens e escolha dos seus destinos. Para cumprir esta finalidade, são adotadas algumas hipóteses sobre o comportamento do usuário em relação à escolha do destino, por exemplo, a escolha do destino é dada em função da distância entre as zonas.

Devido à ausência dos valores dos parâmetros dos modelos de distribuição de viagens divulgados no PDTU não foi possível a sua aplicação na estimação da demanda na área de estudo.

Em alternativa foram calibrados dois modelos para a distribuição das viagens (um para o modo individual motorizado e outro para o modo coletivo), entre as 486 zonas de tráfego que compõe a RMRJ. Os modelos foram calibrados com base nas matrizes de viagens (diárias) divulgadas no PDTU (Relatório 9 - Concepção das Matrizes) para o ano de 2003.

- Matriz de Viagens de Modo Individual – Modelo de Distribuição de Viagens de Modo Individual
- Matriz de Viagens de Modo Coletivo – Modelo de Distribuição de Viagens de Modo Coletivo.

Para estimar a distribuição das viagens, foi utilizada a função gama, com a impedância entre as zonas representada pela distância na rede viária:

$$T_{ij} = P_i \cdot A_j \cdot D_{ij}^{\beta} \cdot e^{\delta \cdot D_{ij}}$$

VLT do Rio

Onde:

T_{ij} = viagens entre a zona de origem i e a zona de destino j

P_i = total de viagens produzidas na zona de origem i

A_j = total de viagens atraídas pela zona de destino j

D_{ij} = distância na rede viária entre a zona de origem i e a zona de destino j (impedância entre as zonas)

β e δ = parâmetros para calibração

Para calibração foi utilizado o programa de modelagem de demanda CUBE para implementar um procedimento tradicional de estimação de máxima verossimilhança, que busca minimizar a função objetivo:

$$OFN = \sum_{i=1}^{zonas} \sum_{j=1}^{zonas} [T_{ij} - N_{ij} (\log T_{ij} - \log N_{ij})]$$

Onde:

OFN = função objetivo

N_{ij} = viagens observadas entre a zona i e a zona j

T_{ij} = viagens estimadas entre a zona i e a zona j

Os valores obtidos para os parâmetros, foram:

$\beta = -0,7456$ e

$\delta = -0,1091$

Calibrado o modelo para distribuição das viagens e obtidos os vetores de atração e produção das zonas de tráfego na área de estudo, a próxima etapa refere-se ao processo de geração dos vetores de atração e produção de viagens das demais zonas de tráfego (separados por modo coletivo e individual) dos anos de 2011, 2016, 2021, 2026 e 2031 para distribuição das viagens. Os vetores de atração e produção das viagens das zonas de tráfego da área de estudo foram obtidos pelo processo descrito anteriormente no item 3.1.

Para cálculo dos vetores foram utilizadas as matrizes diárias de 2003 e as matrizes do período de pico da manhã dos anos de 2003 e 2008 (divulgadas pelo PDTU). A partir de

*VL*T do Rio

razões entre os totais de viagens (atraídas e produzidas) dos anos de 2003 e 2008 (por modo de viagem) foram obtidas taxas de crescimentos anuais (assume-se que o crescimento entre 2003 e 2008 ocorre de forma linear, ou seja, as taxas de um ano para outro não são alteradas).

Para o modo individual a taxa de crescimento anual encontrada foi de 1,31%, enquanto para o modo coletivo a taxa de crescimento anual encontrada foi de 1,42%. Estas taxas de crescimento foram aplicadas aos vetores de atração e produção de viagens da matriz de viagens de modo individual e de modo coletivo do ano de 2003 (matriz diária) e calculados os vetores para os anos de 2011, 2016, 2021, 2026 e 2031.

Os valores de atração e produção das zonas de tráfego da área de estudo, obtidos pelo processo de crescimento, foram substituídos pelos valores gerados a partir da nova ocupação de uso do solo.

4.3. Divisão modal

Na terceira etapa, escolha modal, as viagens entre cada par de zonas são divididas entre os modos de transporte disponíveis no sistema, a partir de um modelo comportamental sobre como os indivíduos tomam decisões sobre as escolhas dentro do sistema de transportes.

As decisões sobre os modos de viagens que os indivíduos realizam no sistema de transportes produzem demandas que, agregadas, dão forma às condições de tráfego do sistema e afetam a qualidade de acesso às atividades distribuídas no meio urbano.

Esta premissa torna imperiosa a identificação de fatores e a avaliação de sua interferência no comportamento individual relacionado às escolhas dos modos de transportes em um sistema. Torna-se então necessária a aplicação de modelos para representação do comportamento individual relacionado às escolhas.

Para estimação dos modos de viagens foi aplicado o modelo *logit* (modelo de escolha discreta baseado na maximização da utilidade). A principal abordagem deste modelo é ter, como premissa principal, que o indivíduo, no processo decisório, tentará maximizar a utilidade da sua escolha, num processo de “troca” entre custos associados aos benefícios das escolhas (assume-se a premissa que os indivíduos são caracterizados por um comportamento racional de consumo). O resultado final deste processo é traduzido em

VLT do Rio

termos de probabilidade de relacionar uma alternativa a partir de um conjunto de regras de comportamento.

O processo de modelagem das escolhas individuais de modos no sistema de transportes é composto pela definição do: (i) objetivo da modelagem; (ii) objetos das escolhas e formação do conjunto de alternativas; (iii) conjunto de atributos avaliados na decisão; (iv) especificação do modelo comportamental; (v) estimativa dos parâmetros do modelo, e; (vi) estatística para desempenho do modelo.

4.3.1. Objetivo da Modelagem

O objetivo do processo de modelagem é representar o comportamento dos usuários dos modos coletivo e individual motorizado da área de estudo, através do modelo logit multinomial, e estimar o contingente de usuários que migrariam para o VLT, caso esta opção modal fosse incluída no conjunto de opções de modos de transportes.

4.3.2. Os objetos das escolhas e a formação do conjunto de alternativas

Na Pesquisa de Preferência Declarada, os usuários dos modos individual e coletivo foram questionados sobre a propensão de migração para o VLT, caso este modo de transporte fosse disponibilizado dentro da área de estudo. Para simular este cenário, foi apresentado ao usuário a opção de manter o modo atual ou mudar para o VLT.

4.3.3. Conjunto de atributos avaliados na decisão

As variáveis independentes, ou variáveis preditoras, escolhidas para explicar o comportamento do usuário urbano são relacionadas a:

- características dos usuários: motivo da atividade (trabalho ou outra atividade), renda domiciliar e se o usuário/família é responsável pelo pagamento da viagem;
- políticas públicas de transportes: utilização do bilhete único.

Além da apresentação da identificação e descrição da nova opção modal (VLT), foram apresentadas aos usuários do modo coletivo os atributos do VLT referentes à:

VLT do Rio

- conforto: qualidade do ambiente de viagem, com duas categorias, (a) similar ao ônibus - referência de conforto do modo coletivo, ou (b) superior;
- confiabilidade: a programação horária e o tempo de viagem do VLT são confiáveis, ou são semelhantes à programação horária e o tempo de viagem do ônibus;
- combinações de economia de tempo de viagem: economia de tempo de viagem ao optar pelo VLT;
- custo total da viagem: apenas a tarifa do VLT ou tarifa do modo atual adicionado a tarifa do VLT.

Aos usuários do automóvel, além dos atributos listados acima, foi apresentada a opção do estacionamento associada ao custo do VLT.

4.3.4. Descrição do modelo para migração do automóvel para o VLT

Esta seção descreve o modelo obtido para estimar as probabilidades individuais da propensão de migração dos usuários do modo individual para o VLT. Na tabela abaixo são apresentadas as medidas de desempenho do modelo logitmultinomial estimado para o cálculo das probabilidades individuais para a propensão de migração para o VLT, na tabela seguinte os valores dos parâmetros das funções de utilidade de cada alternativa de propensão, o teste estatístico de significância do parâmetro (*Robust t-test*), a probabilidade do parâmetro ser diferente de zero para um intervalo de significância de 5% (*Robust p-value*) e, em seguida, as funções de utilidade.

Tabela 4.3.4.1 - Medidas de desempenho do modelo logitmultinomial - automóvel

Model:	Multinomial Logit
Number of observations:	380
Null log-likelihood:	-263,396
Final log-likelihood:	-227,647
Adjusted rho-square:	0,124

Tabela 4.3.4.2 - Valores dos parâmetros das funções de utilidade - automóvel

Variável	Valor	Robust Std err	Robust t-test	p-value
Const, VLT / ASC1	-2,11	0,301	-7,02	0,00
Const, individual motorizado / ASC2	0,00			
Variação do tempo: tempo auto (min) – tempo VLT (min) / BETA	0,286	0,0474	6,03	0,00
Tarifa do VLT (R\$) / GAMA	-0,0795	0,0200	-3,98	0,00

Tabela 4.3.4.3 - Funções de utilidade - automóvel

Modo	Função Utilidade
VLT	$ASC1 * ONE + GAMA * COST + DELTA_TEMPO ^ BETA$
Individual motorizado	0,00

Para propósitos de modelagem, a alternativa certamente automóvel foi considerada como alternativa dominante (referencial), desta forma a função utilidade assume o valor de zero e a exponencial da utilidade de certamente automóvel assume o valor igual a 1.

4.3.5. Descrição do modelo para migração do coletivo para o VLT

Esta seção descreve o modelo obtido para estimar as probabilidades individuais da propensão de migração dos usuários do modo coletivo para o VLT. Na tabela abaixo são apresentadas as medidas de desempenho do modelo logitmultinomial estimado para o cálculo das probabilidades individuais para a propensão de migração para o VLT. Na tabela seguinte são apresentados os valores dos parâmetros das funções de utilidade de cada alternativa de propensão, o teste estatístico de significância do parâmetro (*Robust t-test*), a

VLT do Rio

probabilidade do parâmetro ser diferente de zero para um intervalo de significância de 5% (*Robust p-value*) e, em seguida, as funções de utilidade adotadas.

Tabela 4.3.5.1 - Medidas de desempenho do modelo logit multinomial - coletivo

Model:	Multinomial Logit
Number of observations:	2452
Null log-likelihood:	-1699,597
Final log-likelihood:	-1049,301
Adjusted rho-square:	0,378

Tabela 4.3.5.2 - Valores dos parâmetros das funções de utilidade – coletivo

Variável	Valor	Robust Std err	Robust t-test	p-value
Const, VLT / ASC1	-0,88	0,149	-5,91	0,00
Const, coletivo/ ASC2	0,00			
Variação do tempo: tempo auto (hr) – tempo VLT (hr) / BETA	3,56	0,748	4,77	0,00
Custo da viagem com VLT (R\$) – Custo da viagem atual (R\$)/ GAMA	0,218	0,0305	7,17	0,00
Uso do Bilhete Único (SIM = 1, NÃO = -1) / IOTA1	0,132	0,0700	1,88	0,06
Motivo diferente de trabalho (SIM = 1, NÃO = -1) / KSI	-0,0869	0,108	-0,80	0,42
Usuário/família responsável pelo pgto da viagem (SIM = 1, NÃO=-1) / PI	0,0169	0,0655	0,26	0,80
Renda domiciliar de R\$2,700 a R\$ 5,400 (SIM = 1, NÃO = 0, ou -1) / SIGMA2*	0,0458	0,0951	0,48	0,63
Renda domiciliar acima de R\$ 5,400 (SIM = 1, NÃO = 0, ou -1) / SIGMA3*	0,278	0,137	2,03	0,04

4.3.6. Considerações gerais sobre a modelagem

a) Coeficientes dos parâmetros com sinais esperados:

- redução no tempo de viagem com VLT, impacto positivo na Utilidade do VLT;
- redução no custo da viagem com VLT, impacto positivo na Utilidade do VLT;
- custo associado ao VLT no modelo de Individual Motorizado com sinal negativo, quanto maior o custo, menor a Utilidade do VLT;

VLT do Rio

- usuários do BU são propensos a utilizarem o VLT.
- b) Coerência entre os valores dos coeficientes:
- coletivo: indivíduos com renda domiciliar maior (acima de R\$ 2.700) possuem uma propensão maior que os indivíduos das demais classes de renda domiciliar.
- c) Significado das funções de tempo:
- individual motorizado: a função potência negativa sugere que os indivíduos do automóvel são fortemente sensíveis a variações curtas no tempo de viagem;
 - coletivo: para este modo foi utilizado a função transformada de Box-Cox para ajuste da distribuição dos dados (diferença de tempo de viagem entre o modo atual e a viagem com o VLT). Após a aplicação da função Box-Cox houve melhoria no desempenho do modelo e significância da variável ($t > 1.96$).
- d) Confiabilidade e Conforto:
- estas variáveis não apresentaram comportamento adequado no modelo, sendo excluídas.
- e) Significado da Variável: motivo diferente de trabalho:
- apesar de sua baixa significância ($t < 1.96$) esta variável foi mantida em função de seu poder exploratório relacionado ao comportamento dos usuários do sistema. O resultado apresentado indica propensão maior dos usuários com motivo TRABALHO para uso do VLT.
- f) Significado da Variável: Usuário/Família responsável pelo pagamento da viagem:
- apesar de sua baixa significância ($t < 1.96$) esta variável foi mantida em função de seu poder exploratório relacionado ao comportamento dos usuários do sistema. O resultado apresentado indica propensão maior dos usuários que são responsáveis pelo pagamento de suas viagens para o uso do VLT.

VLT do Rio

4.4. Alocação

Finalmente, na última etapa, alocação das viagens às rotas, os fluxos de viagens entre pares de origem e destino são alocados à rede viária do sistema de transportes. Um novo modelo é aplicado para definir como as porções das viagens serão alocadas as vias do sistema de transportes.

Para alocação dos volumes de viagens entre pares de origem e destino na rede do VLT foi empregado o modelo de alocação de tráfego “tudo ou nada” com restrição da capacidade.

Para alocação da demanda estimada à rede do VLT assume-se que a capacidade da rede é representada pela quantidade de lugares ofertada pelas linhas previstas no traçado da rede do VLT, ao passo que a demanda representa o volume a ser alocado.

Tem-se por premissa que a densidade, baseado no número de pessoas embarcadas (volume) e quantidade de lugares ofertada (capacidade), afete a operação dos VLT's (maior tempo de parada nos pontos para embarque e desembarque de usuários), e o comportamento dos usuários para escolha da rota.

Observa-se que a lotação do veículo influencia na escolha da rota, pela possibilidade do indivíduo viajar com mais conforto em veículos com valores inferiores, ou pela presunção que quanto maior for a relação v/c maior será o tempo de viagem devido a maior número de pessoas para embarque e desembarque nos pontos de parada.

A função custo empregada foi representada pela variável tempo de viagem na rede do VLT (desconsiderando as diferenças de tempo de embarque e desembarque entre estações e pontos de parada, bem como diferenças quanto ao tipo de usuário na linha), e a correção do tempo de viagem nas vias é dado pela formulação da *Bureau of Public Roads* (BPR), representado pela equação X. Esta função é a mais utilizada em estudos de alocação de tráfego.

$$t' = t_1 \cdot \left[1 + \alpha \cdot \left(\frac{v}{c} \right)^\beta \right]$$

Onde:

t' = tempo de viagem na via sob influência da relação v/c

VLT do Rio

t_1 = tempo de viagem anterior na via (sob influência ou não da relação v/c)

v/c = relação entre volume (número de pessoas embarcadas) e capacidade (lugares ofertado).

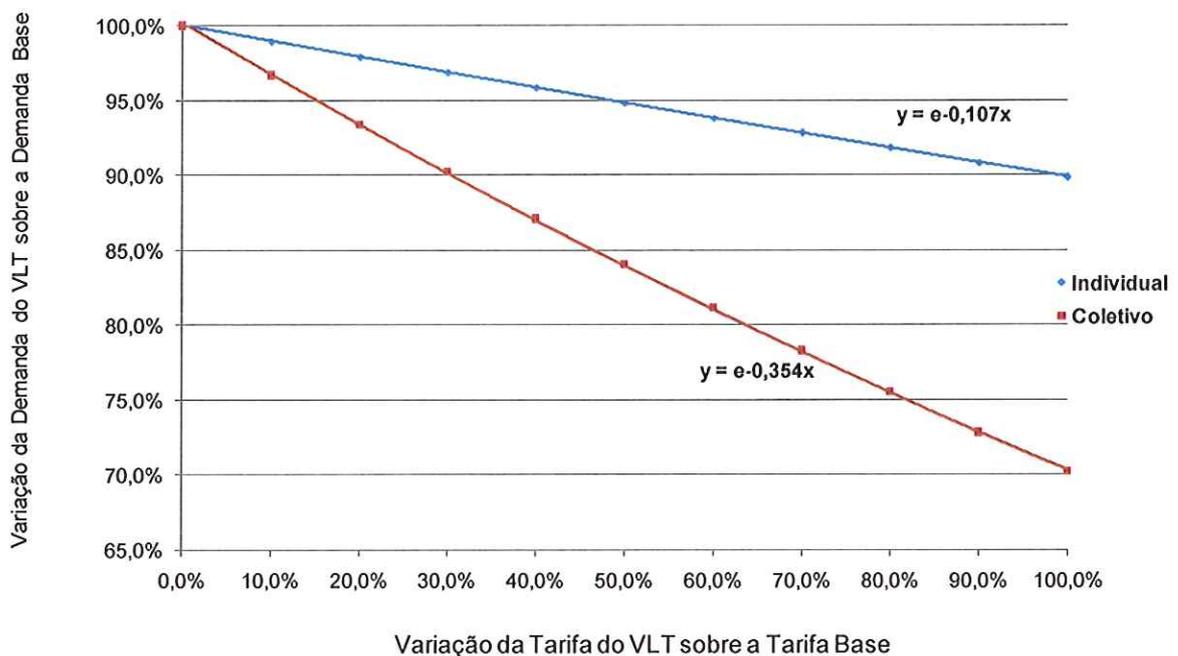
α , β = parâmetros para calibração (Na literatura sobre o tema, em geral, adota-se $\alpha = 0,15$ e $\beta = 4,0$).

Sem prejuízos a investigação da demanda, foram definidos, como opções modais para análise dos deslocamentos dentro da área de estudo, os usuários do modo coletivo (composto pelos usuários do ônibus intermunicipal, municipal, trem, metrô e barcas) e o os usuários do modo individual motorizado (composto por usuários-condutores do automóvel e moto). Os usuários dos modos alternativos (vans e fretamentos) foram considerados "cativos" e resistentes às mudanças na opção modal. Desta forma, a demanda proveniente deste modo não foi considerada.

5. RESULTADOS

A partir da metodologia descrita acima, foram realizadas várias simulações de tarifas integradas, chegando-se às curvas a seguir.

Gráfico 1.5.1 – Elasticidade da demanda do VLT em relação à tarifa



VLT do Rio

Verifica-se que um aumento da tarifa do VLT em 50%, por exemplo, levaria a uma perda de 5% da demanda advinda do transporte individual, mas uma perda mais significativa, de cerca de 15%, da demanda advinda dos coletivos.

5.1. Demanda potencial

Calculou-se então a demanda potencial para o VLT considerando as seguintes premissas:

- tarifa do VLT: R\$ 2,40;
- para pessoas que atualmente usam coletivos:
 - tarifa: R\$ 2,40;
 - usuários do Bilhete Único (BU): 29,2% (destes, 59,7% usam BU municipal e 40,3% usam BU metropolitano);
 - renda domiciliar até R\$ 2.700: 67,3%;
 - renda domiciliar R\$ 2.700 a R\$ 5.400: 27,2%;
 - renda domiciliar acima de R\$ 5.400: 5,5%;
 - o usuário é responsável pelo pagamento da viagem: 46,7%;
 - motivo diferente de trabalho: 7,3%.

Vale lembrar que a tarifa de R\$ 2,40 à época da pesquisa era a tarifa do BU municipal.

Com base nestas premissas estimaram-se os valores da demanda potencial, como apresentado nas tabelas e gráficos a seguir. A demanda potencial foi separada por modo de transporte individual e coletivo.

Tabela 5.1.1 – Demanda individual motorizado: auto + moto

Individual Motorizado: Auto + Moto					
Ano	Atração	Produção	Geração	Total RMRJ	VLT
2016	239.462	45.088	284.550	3.754.018	50.908
2021	276.174	56.024	332.198	4.015.467	54.781
2026	289.101	59.187	348.288	4.286.069	56.302
2031	295.055	60.388	355.443	4.572.782	56.831

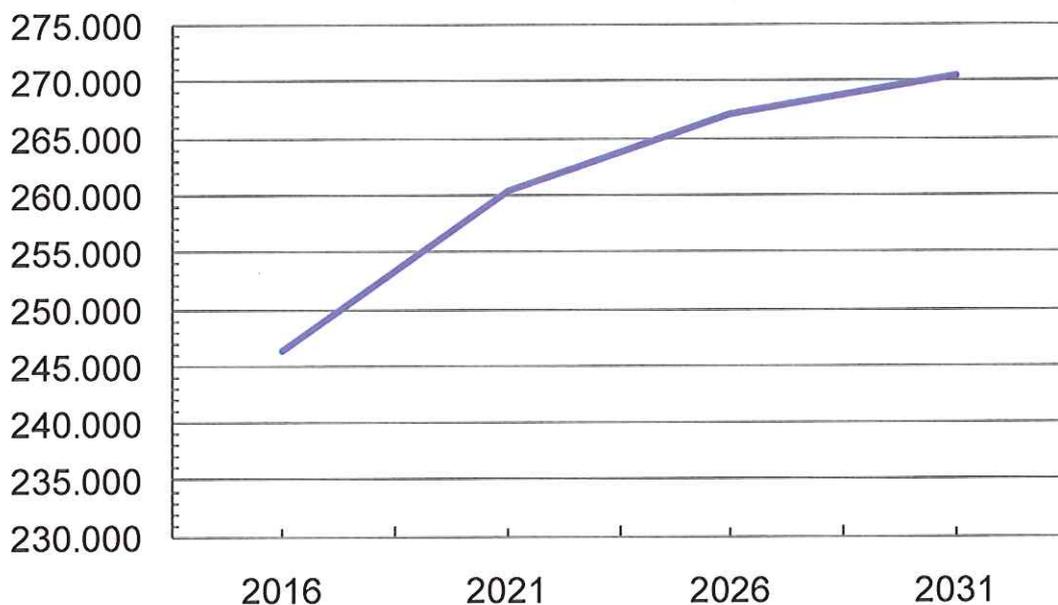
Tabela 5.1.2 – Demanda coletivo

Ano	Coletivo								
	Atração	Produção	Geração	Total RMRJ	VLТ	Urbano	%	Intermunicipal	%
2016	1.538.789	229.740	1.768.529	10.619.077	195.454	141.991	72,65%	53.463	27,35%
2021	1.684.097	285.462	1.969.559	11.429.170	205.680	150.658	73,25%	55.022	26,75%
2026	1.747.933	301.576	2.049.509	12.258.994	210.834	154.280	73,18%	56.554	26,82%
2031	1.787.122	307.674	2.094.796	13.135.762	213.658	155.884	72,96%	57.774	27,04%

Tabela 5.1.3 – Demanda individual motorizado + coletivo

Ano	Total: Individual Motorizado + Coletivo				
	Atração	Produção	Geração	Total RMRJ	VLТ
2016	1.778.251	274.828	2.053.079	14.373.095	246.362
2021	1.960.271	341.486	2.301.757	15.444.637	260.461
2026	2.037.034	360.763	2.397.797	16.545.063	267.136
2031	2.082.177	368.062	2.450.239	17.708.544	270.489

Gráfico 5.1.1 – Demanda potencial VLТ



VLT do Rio

5.2. Bloqueio de acesso

Com base nos estudos de competitividade com demais modos, a Prefeitura decidiu analisar o bloqueio de acesso dos ônibus às vias por onde o VLT trafegar.

5.3. Demanda potencial corrigida

Considerando o bloqueio de acesso dos ônibus à área de abrangência do VLT e a atualização das tarifas de todos os modos envolvidos, estimou-se a quantidade de passageiros do VLT, por ano-horizonte.

Tarifas atualizadas:

- Tarifa do VLT: R\$ 3,10;
- Tarifa dos ônibus: R\$ 2,75;
- Tarifa BU Carioca (VLT + ônibus municipal): R\$ 3,90
- Tarifa BU Metropolitano (VLT + ônibus intermunicipal, metrô, barcas ou trens): R\$ 4,95

Tabela 5.3.1 – Demanda potencial corrigida

Ano	Tarifa de R\$ 3,10 com restrição de ônibus		
	Individual	Coletivo	Total
2016	49.037	194.740	243.777
2021	52.767	203.445	256.212
2026	54.232	215.050	269.282
2031	54.742	228.386	283.018

5.4. Quantidade de passageiros

O quadro a seguir informa a quantidade de passageiros projetada para os dez primeiros anos de operação plena, necessária ao cálculo da mitigação do risco de demanda, de acordo com a cláusula 10 da Minuta de Contrato (Anexo 1 do Edital).

A quantidade de passageiros anual projetada foi calculada multiplicando-se a quantidade de passageiros projetada do dia útil pela equivalência de dias por ano, igual a 280 dias. Para o trimestre considerou-se 70 dias úteis equivalentes.

A quantidade de passageiros trimestral projetada foi calculada aplicando-se fatores de sazonalidade da região em estudo:

- Primeiro trimestre: 1,02
- Segundo trimestre: 0,98
- Terceiro trimestre: 1,00
- Quarto trimestre: 1,00

Além disso, foi considerado um “ramp-up” para o primeiro ano de operação plena.

Tabela 5.4.1 – Ramp-up

Ano	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
1	20%	50%	80%	100%

Tabela 5.4.2 – Quantidade de Passageiros Trimestral Projetada

Ano	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
1	3.481.137	8.361.555	13.651.518	17.064.398
2	17.579.743	16.890.342	17.235.042	17.235.042
3	17.755.541	17.059.245	17.407.393	17.407.393
4	17.933.096	17.229.838	17.581.467	17.581.467
5	18.112.427	17.402.136	17.757.282	17.757.282
6	18.293.551	17.576.157	17.934.854	17.934.854
7	18.476.487	17.751.919	18.114.203	18.114.203
8	18.661.252	17.929.438	18.295.345	18.295.345
9	18.847.864	18.108.732	18.478.298	18.478.298
10	19.036.343	18.289.820	18.663.081	18.663.081

